



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**OPTIMASI PENENTUAN LOKASI KAPASITOR DAN
DISTRIBUTED GENERATION (DG) DENGAN
REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MENINGKATKAN
KELUARAN DAYA AKTIF DG PADA SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM* (GA)**

Erwin Prawira Santosa
NRP 2214105100

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**OPTIMIZATION OF CAPASITOR AND DISTRIBUTED
GENERATION (DG) PLACEMENT WITH NETWORK
RECONFIGURATION FOR INCREASE POWER OUTPUT
ACTIVE DG IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM USING
GENETIC ALGORITHM (GA)**

Erwin Prawira Santosa
NRP 2214105100

Counsellor Lecturer
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Ni Ketut Aryani, MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

**OPTIMASI PENENTUAN LOKASI KAPASITOR DAN
DISTRIBUTED GENERATION (DG) DENGAN
REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MENINGKATKAN
KELUARAN DAYA AKTIF DG PADA SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM (GA)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
NIP. 194907151974121001

Ir. Ni Ketut Aryani, MT
NIP. 196509011991032002



**OPTIMASI PENENTUAN LOKASI KAPASITOR DAN
DISTRIBUTED GENERATION (DG) DENGAN
REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MENINGKATKAN
KELUARAN DAYA AKTIF DG PADA SISTEM DISTRIBUSI
RADIAL MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM* (GA)**

Nama : Erwin Prawira Santosa
NRP : 2214105100
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT

ABSTRAK

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan penambahan penduduk dan perkembangan beban yang terus meningkat namun tidak diimbangi dengan pembangkitan energi listrik yang memadai dapat mengganggu ketersediaan energi listrik bagi pelanggan. Salah satu cara untuk menjaga ketersediaan energi listrik yang mampu mengakomodasi perkembangan beban tanpa menambah kapasitas pembangkit utama adalah dengan menempatkan *Distributed Generation* (DG). DG mampu memasok daya aktif tambahan pada jaringan distribusi energi listrik namun penempatan yang kurang tepat dapat mengakibatkan keluaran daya aktif DG yang tidak maksimal. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini diusulkan rekonfigurasi jaringan, penentuan lokasi DG dan kapasitor yang sesuai dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) baik itu secara berurutan maupun *simultan* untuk diuji pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi.

Berdasarkan pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa teknik optimasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara *simultan* mampu menaikkan profile tegangan bus, sesuai batas tegangan yang diijinkan atau berada dalam *constraint*. Batas tegangan terkecil pada optimasi tersebut sebesar 0,98537 pu.

Kata Kunci : Daya aktif, rekonfigurasi jaringan, penempatan *Distributed Generation* (DG), penempatan kapasitor dan *Genetic algorithm* (GA).

OPTIMIZATION OF CAPACITOR AND DISTRIBUTED GENERATION (DG) PLACEMENT WITH NETWORK RECONFIGURATION FOR INCREASE POWER OUTPUT ACTIVE DG IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM USING GENETIC ALGORITHM (GA)

Name : Erwin Prawira Santosa
NRP : 2214105100
Counsellor Lecturer 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Counsellor Lecturer 2 : Ir. Ni Ketut Aryani, MT

ABSTRACT

The Demand for electricity continues to increase in line with developments in technology and the growth of population and development expenses continue to rise but not matched with adequate power generation can disrupt the availability of electrical energy for the customers. One way to maintain the availability of electrical energy which is able to accommodate the development without increasing the burden of major generating capacity is to put Distributed Generation (DG). DG able to supply additional active power distribution network of electric energy but less precise placement may result in active power output DG is not optimal. Therefore, in this thesis proposed reconfiguration of the network, determining the location of the corresponding DG and capacitor using the Genetic Algorithm (GA) either sequentially or simultaneously to be tested on a radial distribution system IEEE 69 bus modifications.

Based on the test showed that the reconfiguration of the network optimization techniques, placement DG and capacitors simultaneously able to raise the bus voltage profile, within the limits of the allowable voltage or are in constraint. The smallest voltage limit on the optimization of 0.98537 pu.

Keywords: Active Power, network reconfiguration, the placement Of Distributed Generation (DG), capacitor placement and Genetic Algorithm (GA).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi dan Manfaat	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	7
2.1.1 Sistem Distribusi Radial	9
2.2 Rekonfigurasi Jaringan.....	10
2.3 Penempatan Kapasitor.....	12
2.4 Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG).....	13
2.5 <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	17
2.5.1 Komponen <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	15
2.5.2 Parameter <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	15
2.5.3 Proses <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	17
 BAB III DESAIN SISTEM OPTIMASI	 25
3.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus Modifikasi	25
3.2 Aliran Daya	25
3.3 Proses Optimasi Menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	29

3.4 Penerapan <i>Genetic Algorithm</i> (GA) pada Optimasi	32
3.4.1 Perancangan Komponen dan Parameter <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	32
3.4.2 Pemodelan Rekonfigurasi dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	37
3.4.3 Pemodelan Penempatan DG dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	38
3.4.4 Pemodelan Penempatan Kapasitor dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	40
3.4.5 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi dan Penempatan DG dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	41
3.4.6 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi, Penempatan kapasitor dan DG dengan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	42
3.5 Kasus Yang Dilakukan	43
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	45
4.1 Kasus A - Sistem Standar IEEE 69 Bus Modifikasi.	45
4.2 Kasus B – Rekonfigurasi Jaringan	46
4.3 Kasus C – Penempatan Distributed Generation (DG).....	48
4.4 Kasus D – Penempatan Distributed Generation (DG) dan Kapasitor	51
4.5 Kasus E – Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan Distributed Generation (DG) secara <i>simultan</i>	54
4.6 Kasus F – Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan Distributed Generation (DG) dan kapasitor secara berurutan	57
4.7 Kasus G – Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan Distributed Generation (DG)	60
BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69
BIODATA PENULIS	101

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Distributed Generation Berdasarkan Kapasitas Pembangkitan.....	15
Tabel 2.2 Klasifikasi Distributed Generation Berdasarkan Teknologi Pembangkitan.....	15
Tabel 4.1 Solusi Kasus B - Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA)	48
Tabel 4.2 Kasus C-Penempatan DG tanpa optimas	49
Tabel 4.3 Solusi Kasus C - Penempatan DG menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	50
Tabel 4.4 Kasus D-Penempatan DG dan kapasitor tanpa optimasi ...	57
Tabel 4.5 Solusi Kasus D - Penempatan DG dan kapasitor menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	53
Tabel 4.6 Kasus E - Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan DG tanpa optimasi	55
Tabel 4.7 Solusi Kasus E - Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan DG menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA) secara <i>simultan</i>	56
Tabel 4.8 Kasus F - Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor tanpa optimasi.	58
Tabel 4.9 Solusi Kasus F - Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA).....	59
Tabel 4.10 Kasus F-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor <i>simultan</i> tanpa optimasi.	61
Tabel 4.13 Solusi Kasus F-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor <i>simultan</i> menggunakan Genetic Algorithm (GA).	63

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Diagram Proses Penyaluran Listrik 7
Gambar 2.2	Lokasi Distribusi Primer dan Distribusi Sekunder 8
Gambar 2.3	Sistem Distribusi Radial 9
Gambar 2.4	Rekonfigurasi Jaringan Pada Sistem Distribusi Radial 11
Gambar 2.5	Pemasangan Kapasitor Secara Paralel 12
Gambar 2.6	Pemasangan DG Pada Sistem Distribusi 14
Gambar 2.7	<i>Crossover</i> Satu Titik 22
Gambar 2.8	<i>Crossover</i> Dua Titik 23
Gambar 2.9	Mutasi dua Titik 23
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Alir Proses Optimasi 25
Gambar 3.2	Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus Modifikasi 26
Gambar 3.3	Contoh Single Line Diagram 27
Gambar 3.4	<i>Flowchart</i> Proses Optimasi dengan Menggunakan <i>Genetic Algorithm</i> (GA) 31
Gambar 3.5	<i>Crossover</i> Satu Titik 35
Gambar 3.6	Mutasi Satu Titik 36
Gambar 3.7	Pengkodean Binner Rekonfigurasi Jaringan 37
Gambar 3.8	Nsbit Rekonfigurasi Jaringan 38
Gambar 3.9	Pengkodean Binner 38
Gambar 3.10	Contoh Decoding Kromosom DG 39
Gambar 3.11	Pengkodean Binner Kapasitor 40
Gambar 3.12	Contoh <i>Decoding</i> Kapasitor 40
Gambar 3.13	Optimasi Simultan Rekonfigurasi Jaringan dan DG 41
Gambar 3.14	Contoh <i>Decoding</i> Kromosom Optimasi Simultan Rekonfigurasi Jaringan (5 <i>tie switch</i>) dan 1 DG 41
Gambar 3.15	Contoh Kromosom Optimasi Simultan Rekonfigurasi Jaringan, .Penempatan Distributed Generation (DG) dan Kapasitor 42
Gambar 3.16	Contoh <i>Decoding</i> Kromosom Optimasi Simultan Rekonfigurasi Jaringan (<i>tie switch</i>), 1 DG dan 1 kapasitor 42
Gambar 4.1	Profi Tegangan Bus Awal Pada Sistem Distribusi IEEE 69 Bus Modifikasi 46

Gambar 4.2	Profil Tegangan bus pada Kasus B-rekonfigurasi jaringan	47
Gambar 4.3	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus C- Pemasangan Distributed tanpa optimasi	48
Gambar 4.4	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus C- Pemasangan Distributed dengan optimasi	49
Gambar 4.5	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus C- Pemasangan Distributed tanpa optimasi dengan optimasi	50
Gambar 4.6	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus D- Penempatan DG dan kapasitor tanpa optimasi	51
Gambar 4.7	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus D- Penempatan DG dan kapasitor dengan optimasi	52
Gambar 4.8	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus D- Penempatan DG dan kapasitor tanpa optimasi dengan optimasi	53
Gambar 4.9	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus E - Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) secara <i>simultan</i> tanpa optimasi	54
Gambar 4.10	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus E - Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) secara <i>simultan</i> dengan optimasi	55
Gambar 4.11	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus E - Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan <i>Distributed Generation</i> (DG) secara <i>simultan</i> tanpa optimasi dengan optimasi	55
Gambar 4.12	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus F- Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor Secara Berurutan tanpa optimasi.	57
Gambar 4.13	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus F- Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor Secara Berurutan dengan optimasi.	59
Gambar 4.14	Perbandingan Profil Tegangan Bus Kasus F- Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor Secara Berurutan tanpa optimasi dengan optimasi	57

Gambar 4.15	Perbandingan Profil tegangan bus kasus G-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor secara <i>simultan</i> tanpa optima.....	61
Gambar 4.16	Perbandingan Profil tegangan bus kasus G-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor secara <i>simultan</i> dengan optimasi.....	62
Gambar 4.17	Perbandingan Profil tegangan bus kasus G-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor secara <i>simultan</i> tanpa optimasi dengan optimasi.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Belakangan ini teknologi tentang *Distributed Generation* (DG) sering menjadi topik penelitian seiring dengan peningkatan kepekaan masyarakat terhadap energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Dengan meningkatnya kebutuhan pasokan listrik serta seringkali sistem distribusi listrik menjadi besar dan kompleks menyebabkan kerugian sistem yang lebih tinggi dengan pengaturan tegangan yang buruk. Studi menunjukkan bahwa hampir 10-13% dari total daya dihasilkan hilang sebagai kerugian pada tingkat distribusi. Sehingga menyebabkan peningkatan biaya energi dan profil tegangan yang buruk. Metode yang umum digunakan untuk stabilitas tegangan dan penurunan daya dalam sistem distribusi adalah rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor. Adapun DG sendiri merupakan suatu pembangkit listrik yang tersebar dan terhubung ke jaringan utama distribusi. Jenis pembangkit tersebar umumnya merupakan renewable energy seperti wind turbin, mikro hidro dan solar photovoltaic (PV). Sehingga pada pengoperasian tiap-tiap unit pembangkit tersebar tidak selalu bisa secara berkelanjutan mensuplai daya ke jaringan utama. Maka dari itu status tiap unit DG untuk kondisi waktu tertentu berbeda. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor dapat memaksimalkan keuntungan dan mengurangi kerugian akibat dari sistem tenaga listrik.

Distributed Generation merupakan pembangkit listrik kecil (pada umumnya mulai dari beberapa kW hingga puluhan MW) yang bukan merupakan suatu bagian dari sistem pembangkit utama dan diletakkan di dekat beban. Penggunaan DG mengalami peningkatan karena peran pentingnya dalam pasokan sistem tenaga listrik. Hal ini disebabkan oleh efisiensi tinggi, ukuran yang kecil, kemampuan moduler, serta kedekatan dengan sumber energi yang dimiliki oleh DG [1].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penempatan DG terhadap rugi-rugi daya dan keandalan jaringan distribusi dengan menggunakan *Genetic Algorithm* [2]. Pada tugas akhir ini, metode *Genetic Algorithm* digunakan untuk menentukan lokasi DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang akan diaplikasikan pada sistem IEEE 69 bus modifikasi. Optimasi

penentuan kapasitas dan lokasi DG maupun kapasitor dengan menggunakan konstrain tegangan bus, yaitu DG dan kapasitor berkapasitas tertentu diletakkan pada bus tanpa melewati batas tegangan maksimum dan tegangan minimum bus tersebut. Pada penelitian lainnya [3], rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor yang dilakukan secara simultan mampu menurunkan rugi-rugi daya dan memperbaiki tegangan bus yang lebih baik. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor secara simultan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan melakukan rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan penempatan kapasitor secara terpisah.

1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan dalam Tugas Akhir ini :

1. Bagaimana cara optimasi penentuan lokasi *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor dengan rekonfigurasi jaringan yang tepat untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial menggunakan metode *Genetic Algorithm* pada software MATLAB ?
2. Membandingkan hasil optimasi dengan kasus yang berbeda.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Mengoptimalkan penempatan lokasi DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang tepat menggunakan algoritma genetika untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG sehingga dapat memaksimalkan energi listrik yang disumbangkan oleh DG terhadap jaringan.
2. Melihat setiap hasil optimasi dari kasus yang dilakukan seperti: rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor.

1.4 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, terdapat batasan yang diperlukan, diantaranya :

1. Fungsi objektif pada optimasi yang dilakukan adalah memaksimalkan keluaran daya aktif DG.

2. Menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) untuk memperoleh lokasi dan daya keluaran dari penempatan DG dan kapasitor serta rekonfigurasi yang tepat.
3. Menggunakan sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi.
4. Menggunakan Matlab R2011a.
5. Tidak membahas analisa aliran daya secara detail.
6. Sistem berada pada keadaan seimbang ($R = S = T$).
7. Analisa dilakukan pada keadaan sistem steady state.
8. Optimasi dibuat untuk tujuan perencanaan (desain) bukan untuk diterapkan secara on-line.
9. Tipe dan jenis *Distributed Generation* (DG) spesifik.
10. *Distributed Generation* (DG) yang dipasang sebagai PV bus bukan PQ bus

1.5 Metodologi

Metodologi yang diterapkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi Literatur yang digunakan berasal dari paper, jurnal dan text book. Dalam studi literature dipelajari teori – teori pendukung seperti *Genetic Algorithm* (GA) dan perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data dari sistem distribusi radial IEEE 69 bus berupa data beban, data saluran dan data hasil pengujian dengan metode yang berbeda.
3. Permodelan Sistem dan Perancangan Perangkat Lunak
Memodelkan sistem distribusi radial dalam penerapan optimasi dan merancang perangkat lunak yang mampu memperoleh konfigurasi jaringan yang tepat serta lokasi penempatan terbaik dari *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor menggunakan algoritma genetika pada Matlab.
4. Simulasi dan Analisis
Setelah pengambilan data maka diperoleh *line* data berupa nilai impedansi setiap saluran dengan *tie switch* dan *sectionalizing switch*. Kemudian data beban (bus data) dan tegangan. Selanjutnya penulis melakukan pemodelan optimasi rekonfigurasi ulang, penentuan lokasi DG dan kapasitor pada MATLAB. Pemodelan dilakukan ke dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA). Pada tugas akhir ini, akan disimulasikan *plant basic* (sistem

distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi) terlebih dahulu, kemudian akan di simulasikan kasus selanjutnya, berikut kasus yang dilakukan:

- a. Kasus A : Sistem standar IEEE 69 bus modifikasi.
- b. Kasus B : Rekonfigurasi jaringan.
- c. Kasus C : Penempatan DG
- d. Kasus D : Penempatan DG dan kapasitor secara berurutan.
- e. Kasus E : Rekonfigurasi dan penempatan DG secara *simultan*.
- f. Kasus F : Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara berurutan.
- g. Kasus G : Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara *simultan*.

5. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan dilakukan sebagai wadah untuk merekam dan menampung hasil penelitian ke dalam bentuk tulisan yang berisikan teori terkait permasalahan yang diangkat, proses yang dilakukan selama penelitian, analisa dari hasil yang didapatkan dan kesimpulan dari tugas akhir ini. Selain itu terdapat saran atas apa yang telah dilakukan dengan harapan dapat berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang ditetapkan pada penyusunan laporan tugas ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan.

Bab ini berisikan tentang latar belakang dari pengerjaan tugas akhir, tujuan, permasalahan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi pengerjaan tugas akhir.

BAB II Sistem Distribusi, Rekonfigurasi Jaringan, *Distributed Generation* (DG) , Kapasitor dan *Genetic Algorithm* (GA).

Bab ini membahas tentang teori penunjang yang berkaitan dengan tugas akhir. Seperti sistem distribusi, rekonfigurasi jaringan, *Distributed Generation* (DG), kapasitor dan metode *Genethic Algorithm* (GA) yang digunakan sebagai basis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

- BAB III Perancangan dan Pemodelan
Bab ini berisikan tentang penerapan dari metode *Genetic Algorithm* (GA) yang diaplikasikan untuk menentukan lokasi dari *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang tepat pada jaringan distribusi radial. Bab ini berisikan pula tentang data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir.
- BAB IV Simulasi dan Analisis .
Bab ini berisikan tentang hasil penelitian dan analisis dari pengujian dari beberapa studi kasus yang berbeda. Dimulai dari basis sistem hingga penggabungan dari ketiga cara untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem IEEE 69 bus.
- BAB V Penutup.
Bab ini merupakan bagian akhir dari laporan, yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil pengujian dan analisis pada tugas akhir yang dilakukan.

1.7 Relevansi

Manfaat yang diharapkan dalam tugas akhir ini :

1. Diperoleh lokasi yang optimal untuk DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang tepat dalam upaya untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial.
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang Sistem Tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

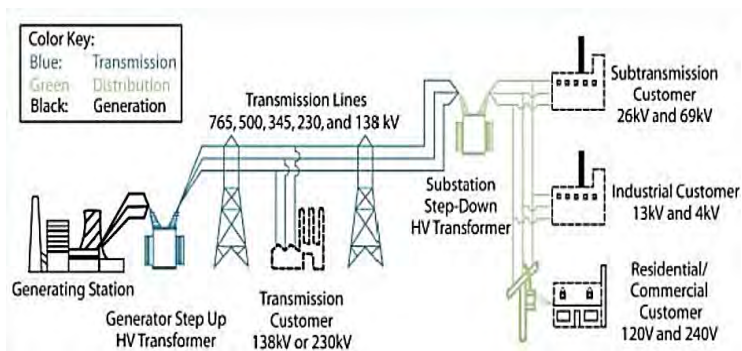
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Jaringan distribusi yang paling umum digunakan ialah sistem dengan bentuk radial. Sistem ini memiliki bentuk yang sederhana serta biaya investasinya yang terbilang murah. Namun, kualitas pelayanan dayanya relatif buruk. Dalam beberapa tahun terakhir, industri tenaga telah mengalami perubahan yang signifikan pada sistem distribusi tenaga listrik terutama karena penerapan teknologi inkremental generasi didistribusikan. *Distributed Generation* (DG) hanya didefinisikan sebagai desentralisasi pembangkit listrik dengan menempatkan unit pembangkit yang lebih kecil lebih dekat ke titik konsumsi, tradisional sepuluh mega-watt atau lebih kecil. Dampak dari DG pada sistem akan tergantung pada lokasi dan ukuran DG. Oleh karena itu pada tugas akhir ini berfokus pada pengujian berbagai kasus dan menggunakan teknik yang efektif untuk rekonfigurasi jaringan, penempatan optimal dan ukuran unit DG dan kapasitor [4],[5].

2.1 Sistem Distribusi Energi Listrik

Dalam sistem tenaga listrik, sistem distribusi merupakan tahap akhir dari proses penyaluran dan pendistribusian energy listrik dari pembangkit listrik menuju beban. Energi listrik merupakan kebutuhan yang vital bagi masyarakat secara keseluruhan, baik bagi rumah tangga maupun industri. Tingginya tingkat kebutuhan masyarakat akan energi listrik mengharuskan dibangunnya pusat pembangkit energi listrik.

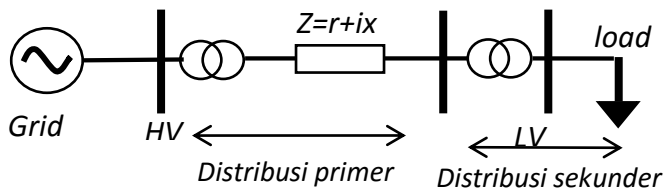


Gambar 2.1 Diagram proses penyaluran listrik [4]

Pada gambar 2.1 diatas diperlihatkan bahwa tahap awal dalam proses distribusi energi listrik ialah energi yang dihasilkan oleh pembangkit disalurkan melalui saluran transmisi, lalu menuju ke saluran distribusi dan akhirnya sampai ke konsumen. Pada saluran distribusi ini, energi listrik didistribusikan sesuai dengan kebutuhan konsumen.

Sistem distribusi dapat dibedakan menjadi 2 menurut posisi yang ditunjukkan pada gambar 2.2, yaitu :

1. Sistem distribusi primer (distribusi tegangan menengah)
Energi listrik yang disalurkan pada tegangan tingkat menengah (1–35 kV, di indonesia umumnya 20 kV) disebut sistem distribusi primer. Sistem tersebut terletak sebelum trafo distribusi yang menghubungkan antara sisi sekunder trafo gardu induk dengan sisi primer trafo distribusi.
2. Sistem distribusi sekunder (distribusi tegangan rendah)
Energi listrik yang disalurkan pada tegangan tingkat rendah (0,1–1 kV, di indonesia umumnya 220V/380V) disebut sistem distribusi sekunder. Sistem tersebut terletak setelah trafo distribusi. Sistem distribusi sekunder menghubungkan sisi sekunder trafo distribusi dengan sisi konsumen.



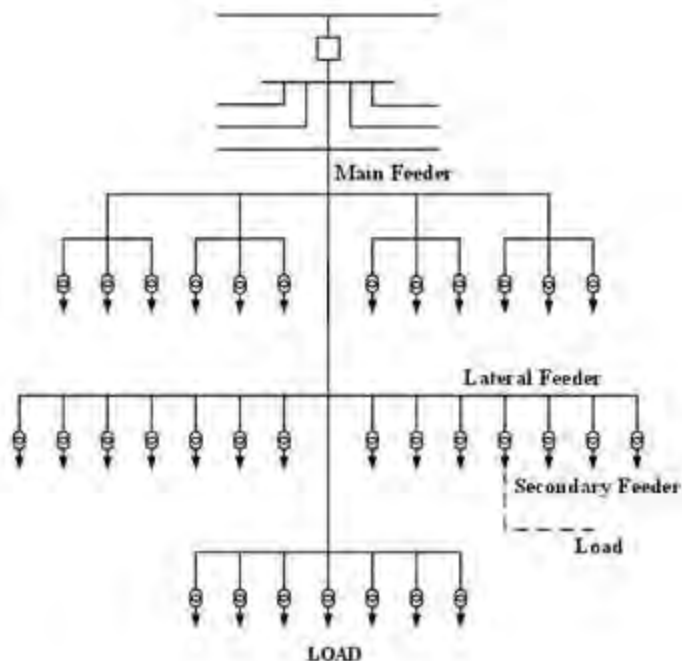
Gambar 2.2 Lokasi distribusi primer dan distribusi sekunder

Berdasarkan konfigurasinya, sistem distribusi dibagi menjadi tiga bagian, yakni: sistem distribusi radial, sistem distribusi ring dan sistem distribusi spindle. Pada tugas akhir ini, sistem yang digunakan adalah sistem distribusi dengan konfigurasi radial.

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial merupakan sistem yang paling sering digunakan karena memiliki konfigurasi paling sederhana dan investasi terhadap sistem ini tergolong murah. Sistem tersebut dikatakan radial

karena salurannya ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dan dicabang-cabangkan ke titik beban. Sehingga bentuk jaringan radial ini tampak seperti cabang pohon dengan jalur utama yang terhubung ke rangkaian yang lebih kecil yakni menuju beban seperti yang tunjukan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sistem distribusi radial

Karena hanya ada satu sumber yang menyuplai sistem dan adanya pencabangan ke titik beban yang dilayani, maka arus yang mengalir menuju ke beban disepanjang saluran menjadi tidak sama. Sehingga, luas penampang konduktor pada sistem distribusi radial ini ukurannya tidak sama. Sebab arus yang paling besar ialah yang paling dekat letaknya terhadap gardu induk. Menjadikan saluran yang paling dekat dengan gardu induk memiliki ukuran penampang yang relatif besar dibanding saluran lainnya. Semakin ke ujung maka arus yang

menuju ke beban semakin kecil pula. Mengakibatkan luas penampang konduktornya lebih kecil sesuai besar arus yang mengalirinya.

Sistem ini memiliki kekurangan dalam segi kualitas pelayanan daya yang relatif buruk. Hal itu disebabkan oleh rugi daya yang cukup besar, adanya drop tegangan serta besar nilai impedansi pada tiap saluran. Sistem dengan bentuk radial ini memiliki kontinuitas pelayanan daya yang kurang baik. karena hanya memiliki satu alternatif saluran saja. Sehingga ketika terjadi gangguan pada saluran, maka saluran setelahnya akan mengalami pemadaman sampai gangguan dapat diatasi, pada jaringan distribusi sistem radial ini menggunakan pengaman berupa CB, *sectionalizer*, *recloser* atau alat pemutus beban lainnya.

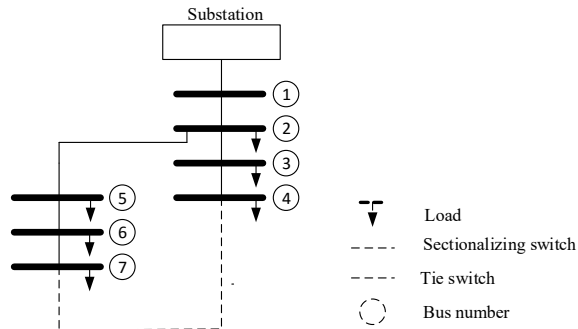
2.2 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan merupakan upaya mengubah topologi jaringan dengan cara membuka atau menutup *sectionalizing* dan *tie switch* yang terdapat pada saluran. Cara ini bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya yang ada pada saluran distribusi. Rekonfigurasi atau Konfigurasi ulang jaringan memungkinkan sistem untuk dapat melayani beban yang sama namun dengan rugi daya yang lebih sedikit serta mencegah adanya ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi.

Pada dasarnya, rekonfigurasi jaringan merupakan permasalahan mengenai optimasi kombinatorial dimana kemungkinan kombinasi terbaik dengan cara membuka atau menutup dari *sectionalizing* dan *tie switch* yang harus ditemukan sehingga fungsi tujuan dapat diminimalkan. Tujuan umum dilakukannya rekonfigurasi jaringan adalah untuk mengurangi rugi daya dan mengurangi deviasi tegangan. Konfigurasi ulang jaringan memungkinkan sistem untuk melayani beban yang sama untuk memperoleh beban dengan kerugian daya yang lebih sedikit dalam sistem. Hal ini juga dapat menurunkan kelebihan beban dalam jaringan dan mencegah adanya ketidakseimbangan beban. Konfigurasi ulang jaringan adalah cara yang efektif untuk meningkatkan kualitas daya dalam sistem dan meningkatkan keandalan tegangan listrik di sisi pengguna. Jaringan distribusi listrik dibangun sebagai jaringan yang saling berhubungan dan menyatu. Namun, jaringan tersebut diatur untuk beroperasi menjadi radial. Konfigurasi tersebut dapat bervariasi dengan operasi *switching* manual atau otomatis sehingga semua beban dapat terlayani dan dapat mengurangi daya yang hilang.

Untuk mendapatkan rekonfigurasi jaringan yang paling optimal digunakan konsep *branch exchange*. *Branch exchange* merupakan cara

yang paling mudah diterapkan pada sistem distribusi radial. Jika *tie switch* tertutup, maka akan ada *loop* yang terbentuk sehingga harus ada saluran dengan *sectionalizing switch* yang dibuka untuk mengembalikan sistem ke bentuk radial.



Gambar 2.4 Rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi radial

Pada kenyataannya, *sectionalizing switch* dalam jaringan distribusi memiliki jumlah yang sangat banyak, sehingga kemungkinan kombinasi konfigurasi jaringan juga sangat banyak sesuai dengan banyaknya *switch* dalam jaringan tersebut. Sebagian besar metode yang digunakan untuk melakukan rekonfigurasi jaringan ini adalah menggunakan metode pendekatan berdasarkan teori evolusi atau heuristik.

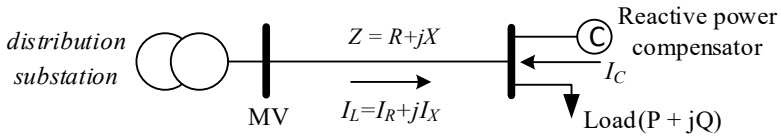
Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan untuk mengurangi rugi – rugi daya dan mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah terjadinya kelebihan beban atau ketidakseimbangan beban pada jaringan. Pada tugas akhir ini, rekonfigurasi jaringan dilakukan secara berurutan dan *simultan* dengan penempatan DG dan Kapasitor untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial.

2.3 Penempatan Kapasitor

Salah satu cara untuk mengatur tegangan dan meningkatkan kualitas tegangan bus yaitu kapasitor yang dipasang paralel pada bus-bus distribusi sepanjang saluran atau pada gardu induk dan beban. Pada dasarnya kapasitor merupakan peralatan untuk menghasilkan daya reaktif pada titik mana kapasitor tersebut dipasang. Kapasitor dapat

dihubungkan permanen, tetapi untuk pengaturan tegangan kapasitor dapat dilepas dari sistem sesuai perubahan beban[6].

Apabila kapasitor dipasang paralel dengan beban yang memiliki faktor daya yang tertinggal, kapasitor adalah sumber dari sebagian atau semua daya reaktif yang dibutuhkan beban. Dengan demikian, kapasitor mengurangi arus saluran yang mengalir menuju beban dan mengurangi tegangan jatuh pada saluran yang dapat diamati pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pemasangan kapasitor secara paralel

Kapasitor menyuplai daya reaktif, maka arah aliran yang berbeda tersebut menjadi negatif. Sehingga dalam perhitungan analisis aliran daya, kapasitor dianggap beban negatif yang arah aliran dayanya berlawanan dengan beban. Daya reaktif dapat dihitung [7] :

$$Q_i = Q_{load,i} - Q_{cap,i} \quad (2.1)$$

Dimana Q_{ci} merupakan daya reaktif yang dihasilkan di bus "i", $Q_{load,i}$ adalah referensi daya reaktif dan Q_i merupakan beban daya reaktif untuk mempertahankan tegangan terminal tertentu. Perolehan nilai daya reaktif yang besar per unit volume pada kapasitor diperoleh dengan cara mendapatkan rugi daya yang rendah dengan mengoperasikannya pada tegangan tinggi. Mengenai alasan ini, pengoperasian yang lama pada tegangan sebaiknya dihindari guna mencegah terjadinya kerusakan dielektrik akibat panas. Penentuan rating daya reaktif pada kapasitor diperoleh melalui hasil selisih faktor daya lama dan faktor daya baru dikalikan dengan daya semu total.

Drop tegangan sebelum dipasang kapasitor :

$$\Delta Vd = I_L \cdot Z \quad (2.2)$$

$$\Delta Vd = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L \quad (2.3)$$

Drop tegangan setelah dipasang kapasitor secara paralel :

$$\Delta Vd = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L - jI_C \cdot X_L \quad (2.4)$$

Dimana I_L adalah arus saluran, Z adalah impedansi, I_C adalah arus dari kapasitor dan ΔV_d adalah jatuh tegangan.

Pada pengoperasian kapasitor, ada faktor-faktor yang perlu diperhatikan, yaitu :

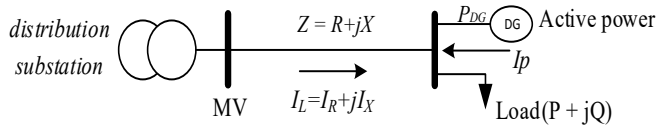
- a. Temperatur udara di sekitar kapasitor harus dibawah ambang batas.
- b. Ketinggian lokasi kapasitor tidak lebih dari 1800 mdpl.
- c. Tegangan antara terminal dengan tangki kapasitor tidak melebihi tegangan yang ditetapkan untuk kelas isolasinya.
- d. Tegangan operasi tidak mengandung harmonisa; frekuensi tegangan operasi sama dengan frekuensi nominal.
- e. Asap, debu dan getaran mekanis yang mungkin menerpa unit-unit kapasitor .

Secara umum fungsi kapasitor pada sistem tenaga adalah :

1. Meningkatkan kemampuan penyaluran daya pada jaringan transmisi dan distribusi
2. Meningkatkan kualitas tegangan pada sistem distribusi.
3. Mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi.
4. Meningkatkan kemampuan pembangkitan generator.

2.4 Penempatan Distributed Generation (DG)

Distributed Generation (DG) merupakan pembangkit tenaga listrik tersebar dengan kemampuan pembangkitan yang lebih kecil dibandingkan dengan pembangkit konvensional pada umumnya. Sehingga, penggunaan DG pada jaringan lebih diutamakan sebagai *supporting generation* untuk mendukung pembangkitan energi listrik dari pembangkit utama dan DG merupakan pembangkit energi listrik yang berdiri sendiri diluar pembangkit utama pada jaringan. DG terkoneksi dengan sistem distribusi untuk memenuhi kebutuhan konsumen dan memiliki kapasitas pembangkitan lebih kecil dari pada pembangkit energi listrik utama. Pada sistem distribusi, DG umumnya dipasang untuk mengurangi atau menghilangkan rugi daya pada saluran distribusi. Keberadaan DG dapat mengurangi permintaan daya aktif dari gardu distribusi selaku sumber, sehingga daya yang masih tersedia dapat di alokasikan ke beban lain atau beban baru. Gambar berikut ini menampilkan contoh dari pengaplikasian DG pada suatu *plant* atau sistem.



Gambar 2.6 Pemasangan DG pada sistem distribusi

Berdasarkan gambar 2.6, rugi daya yang terjadi ketika DG ditempatkan pada suatu lokasi dalam sistem distribusi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S_r = S_{load} - S_{DG} \quad (2.5)$$

$$P_{DG,loss} = \text{real}(S_r) \quad (2.6)$$

Dimana, S_{load} dan S_{DG} merupakan daya yang dikonsumsi beban dan daya yang dihasilkan oleh DG sehingga untuk mendapatkan besarnya kerugian daya setelah pemasangan DG maka daya yang dikonsumsi beban tersebut dikurangi dengan daya yang dihasilkan DG. Dengan adanya DG yang dapat meregulasikan besarnya daya aktif dengan nilai batas tertentu, *Distributed Generator* (DG) mempunyai tambahan fitur untuk mengontrol tegangan bus, yaitu dengan memodelkan generator bus sebagai PV bus. Sebuah DG dapat dimodelkan dan dioperasikan sebagai baik daya aktif konstan dan tegangan (PV) model. Dalam kebanyakan kasus, model unit DG tergantung pada metode kontrol yang digunakan dalam kontrol konverter sirkuit. DG yang dimodelkan untuk memiliki kontrol atas tegangan pada bus dipasang adalah DG PV model. Dalam hal ini, DG adalah model tegangan konstan dan nilai yang ditetapkan model DG ini output daya nyata dan tegangan bus. Dalam rangka mempertahankan tegangan konstan, perubahan tegangan ΔV_i , harus tetap nol dengan menyuntikkan daya reaktif yang diperlukan [7].

DG umumnya berupa generator ukuran kecil dengan tingkat emisi yang rendah bahkan ada yang memiliki tingkat emisi hampir mendekati 0%. Hal ini memungkinkan terlaksananya kebijakan pengurangan jumlah emisi yang dihasilkan oleh pembangkit energi listrik. Selanjutnya, keberadaan DG diharapkan dapat merubah sistem monopoli energi listrik yang bersifat terpusat menjadi lebih kompeten. Pada kasus ini, dimaksudkan bahwa pihak lain dapat pula menjual

energi listrik kepada konsumen sehingga dapat menimbulkan persaingan yang akhirnya dapat menekan harga energi listrik.

Distributed Generation (DG) memiliki beberapa jenis seperti *micro hidro*, *photovoltaic generation*, *wind generation*, *mesin diesel* dan *battery* yang terdiri dari beberapa modul. Pada umumnya penggunaan jenis DG tergantung dari keadaan lingkungan (geografis) yang akan dipasang DG. *Distributed generation* (DG) dapat diklasifikasikan atau dikelompokkan berdasarkan kapasitas pembangkitan dan teknologi pembangkitan yang digunakan. Pada tabel 2.1 dan 2.2 dapat diamati klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan dan teknologi pembangkitan yang digunakan.

Tabel 2.1 Klasifikasi *Distributed Generation* (DG) berdasarkan kapasitas pembangkitan

Jenis DG	Kapasitas Pembangkitan
Micro DG	1 Watt – 5 kW
Small DG	5 kW – 5 MW
Medium DG	5 MW – 50 MW
Large DG	50 MW – 300 MW

Tabel 2.2 Klasifikasi *Distributed Generation* (DG) berdasarkan teknologi pembangkitan

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Fossil Fuel</i>	
<i>Combined Cycle Gas Turbine (CCGT)</i>	35 – 400 MW
<i>Internal combustion engines</i>	5 kW – 10 MW
<i>Combustion turbine</i>	1 – 250 MW
<i>Micro-Turbines</i>	35 kW – 1 MW
<i>Renewable Resources</i>	
<i>Small hydro</i>	1 – 100 MW
<i>Micro hydro</i>	25 kW – 1 MW
<i>Wind turbine</i>	200 Watt – 3 MW
<i>Photovoltaic arrays</i>	20 Watt – 100 kW

Tabel 2.2 Klasifikasi *Distributed Generation* (DG) berdasarkan teknologi pembangkitan (lanjutan)

Teknologi DG	Kapasitas per Modul
<i>Solar thermal, central receiver</i>	1 – 10 MW
<i>Solar thermal, Lutz system</i>	10 – 80 MW
<i>Biomass, e.g. based on gasification</i>	100 kW – 20 MW
<i>Fuel cells, phosacid</i>	200 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, molten carbonate</i>	250 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, proton exchange</i>	1 kW – 250 kW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW – 5 MW
<i>Geothermal</i>	5 – 100 MW
<i>Ocean energy</i>	100 kW – 1 MW
<i>Stirling engine</i>	2 – 10 kW
<i>Battery storage</i>	500 kW – 5 MW

Dalam banyak penelitian, DG dapat beradaptasi dengan perubahan ekonomi dalam cara yang fleksibel karena ukurannya yang kecil dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan pusat – pusat pembangkit konvensional. Dalam pemasangannya dalam jaringan distribusi, DG ditempatkan dekat dengan daerah beban dan beberapa keuntungan dalam pemakaian DG meliputi:

1. DG yang pemasangannya berada dekat dengan daerah beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
2. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya
3. Dibandingkan dengan *power plants*, DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam penyaluran daya. Selain itu, bila dikoneksikan pada jaringan, DG dapat meningkatkan efisiensi sistem karena DG membantu mengurangi rugi-rugi pada sistem.
4. Dalam memproduksi energi listrik, DG bersifat ramah lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik oleh DG tergolong rendah, bahkan mendekati nol.

2.5 Genetic Algorithm (GA)

Dalam tugas akhir ini adalah untuk menemukan rekonfigurasi jaringan, lokasi pemasangan DG dan kapasitor yang tepat agar daya aktif yang dikeluarkan oleh DG dapat maksimal. Artinya *Genetic Algorithm* (GA) dalam hal ini adalah masalah maksimasi suatu fungsi *F*. Memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada sistem dilakukan dengan mempertimbangkan batas tegangan yang diijinkan pada setiap bus.

Genetic Algorithm (GA) adalah optimasi dan teknik pencarian berdasarkan prinsip dari genetika dan seleksi natural. GA mengizinkan sebuah populasi melakukan perubahan pada individu (perubahan gen) untuk menyesuaikan diri sesuai aturan seleksi yang bertujuan untuk memaksimalkan *fitness*. Metode ini pertama dikembangkan oleh John Holland (1975) dan akhirnya dipopulerkan oleh salah satu muridnya David Goldberg (1989) [8].

Perbedaan metoda GA dengan metoda konvensional :

- GA memanipulasi kode-kode-set parameter, bukan manipulasi nilai parameter tersebut.
- GA melakukan pencarian pada waktu tertentu di beberapa titik sekaligus (kombinatorial).
- GA menggunakan fungsi objektif sebagai referensi pencarian, tidak berdasarkan nilai turunan atau informasi lain.
- GA menggunakan aturan transisi probabilistik, bukan aturan deterministik.

Metoda *Genetic Algorithm* (GA) juga dapat diartikan sebagai algoritma yang memanfaatkan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses evolusi. Dalam proses evolusi, individu secara terus-menerus mengalami perubahan gen untuk menyesuaikan dengan lingkungan hidupnya. Hanya Individu yang-individu yang kuat yang bertahan hidup.

Metoda *Genetic Algorithm* (GA) dapat membantu memecahkan permasalahan dalam sistem tenaga. Pengkodean di dalam GA secara umum dalam bentuk biner yang menjadi sebuah *string* (rangkain) yang menyusun gen-gen pembentuk kromosom. Kemudian akan mencari solusi dan *fitness* terbaik sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan. Parameter yang digunakan di dalam GA adalah *Generation* (jumlah maksimal generasi), *Popsiz* (jumlah populasi), *probability crossover* dan *mutation*. Pembangkitkan secara acak dan kemudian akan dipilih melalui operasi Genetika (*selection, crossover, mutation*). Hasil dari operasi genetika tersebut akan dievaluasi sesuai dengan fungsi

objektif yang digunakan sehingga didapatkan kromosom yang akan diikuti proses perulangan. GA ini akan berhenti ketika sudah mencapai *Generation* yang ditentukan.

2.5.1 Komponen *Genetic Algorithm* (GA)

Pada metoda *Genetic Algorithm* (GA) terdapat beberapa komponen yang digunakan. Permasalahan atau pencarian solusi yang akan dipecahkan dimodelkan ke dalam komponen *Genetic Algorithm* (GA). Berikut beberapa komponen yang digunakan dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA) :

a. Gen

Gen adalah elemen terkecil dalam sistem makhluk hidup yang membawa sebuah nilai di dalam individu. Biasanya gen pada *Genetic Algorithm* (GA) berbentuk *binner*, *float* dan *string*.

b. Kromosom

Kromosom adalah kumpulan dari gen-gen yang membentuk satu kesatuan .

c. Individu

Individu adalah kesatuan dari kromosom yang memiliki satu fitness

d. Populasi

Populasi adalah sekumpulan individu yang memiliki fitness masing-masing. Pada populasi inilah akan dipilih induk untuk dilakukan regenerasi atau perkawinan ,sehingga setiap generasi akan terjadi pembaharuan (*update*) pada populasi.

e. Generasi

Generasi adalah jumlah keturunan dari proses seleksi alami. Proses ini dimulai dengan satu populasi hingga membentuk populasi baru dengan gen-gen yang berbeda-beda.

f. Nilai fitness

Nilai fitness adalah nilai dari fungsi objektif permasalahan dari setiap individu. Nilai ini akan digunakan sebagai pembanding dalam pemilihan individu terbaik sebagai solusi paling optimal.

Algoritma genetika menerapkan prinsip teori evolusi, secara umum prosesnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pembangkitan populasi awal

Populasi awal pada algoritma genetika dibangkitkan secara random yang merupakan solusi awal dari permasalahan. Populasi

tersebut terdiri dari sejumlah individu yang tersusun atas kromosom yang merupakan representasi solusi yang diharapkan.

2. Pembentukan populasi baru

Populasi baru diperoleh menggunakan bantuan operator seleksi (*selection*), kawin silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*). seleksi merupakan proses pemilihan 2 individu yang akan menjadi induk untuk menghasilkan keturunan atau anak. Induk terpilih selanjutnya di kawin silangkan guna memperoleh 2 keturunan yang baru. Setelahnya, dilakukan proses mutasi untuk merubah satu atau beberapa nilai gen dalam suatu kromosom untuk memperoleh individu baru. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang, sampai diperoleh individu-individu dengan nilai *fitness* terbaik yang menggantikan populasi lama.

3. Pengevaluasian solusi

Nilai *fitness* pada suatu individu merepresentasikan kualitas dari individu dalam suatu populasi. Nilai *fitness* pada individu untuk tiap generasinya akan dievaluasi terhadap fungsi objektif dari permasalahan yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses evaluasi terus dilakukan sampai terpenuhi kriteria berhenti. Apabila kriteria berhenti belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah kedua. Terdapat beberapa kriteria berhenti yang biasa digunakan, seperti : berhenti pada generasi tertentu, berhenti setelah dalam beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai *fitness* tertinggi tidak berubah dan berhenti dalam n generasi tidak didapatkan nilai *fitness* yang lebih tinggi.

2.5.2 Parameter *Genetic Algorithm*(GA)

Pada metoda *Genetic Algorithm* (GA) digunakan beberapa parameter dalam melakukan optimasi. Parameter ini memiliki nilai yang akan mempengaruhi proses optimasi yang berhubungan dengan kecepatan pencarian solusi terbaik. Berikut Parameter yang digunakan dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA) :

a. Probabilitas persilangan (*Probability of crossover* (PC))

PC adalah nilai kemungkinan dari terjadinya *crossover* pada saat perkawinan. Referensi [9] mengatakan nilai PC berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilai PC semakin besar maka kemungkinan terjadinya *crossover* juga semakin besar dan sebaliknya.

Kemungkinan 100% terjadinya *crossover* dapat dilakukan dengan memberikan nilai 1 pada parameter PC dan sebaliknya.

b. Probabilitas mutasi (*Probability of mutation* (PM))

PM adalah nilai kemungkinan dari terjadinya mutasi pada gen-gen pembentuk kromosom. Mutasi terjadi setelah *crossover* pada perkawinan. Referensi [9] mengatakan nilai PM memiliki nilai yang kecil seperti 0,05, 0,1 atau lainnya. Jika nilai PM semakin kecil maka kemungkinan terjadinya mutasi juga semakin kecil dan sebaliknya. Nilai PM ini pada umumnya berkisar antara 0 hingga 0,3.

c. *Popsizse* (ukuran populasi)

Poposeize adalah parameter GA yang berisi nilai jumlah individu di dalam populasi pada setiap generasi. Besarnya *popsizse* akan mempengaruhi pencarian solusi yang optimal. Hal ini dikarenakan populasi yang besar memiliki keberagaman jenis individunya.

d. *Maxgen* (jumlah generasi)

Maxgen adalah parameter GA yang berisi nilai jumlah generasi atau keturunan dalam melakukan optimasi. Parameter ini juga sebagai pembatas atau kriteria stop dalam pencarian. Maksudnya jika proses evolusi telah sampai pada nilai *Maxgen*, maka proses optimasi akan berhenti.

2.5.3 Proses Genetic Algorithm (GA)

2.5.3.1 Pembangkitan populasi awal

GA dimulai dengan pembangkitan populasi awal secara acak berupa matriks yang berisi angka nol dan satu. Untuk membangkitkan populasi awal dapat menggunakan :

$$\text{pop} = \text{round}(\text{rand}(N_{\text{pop}}, N_{\text{bits}})) ; \quad (2.4)$$

2.5.3.2 Pembentukan Generasi baru

Didalam pembentukan generasi baru pada GA terdapat beberapa tahapan, yaitu seleksi induk , *crossover* dan *mutasi*. Berikut penjelasan tahapan-tahapan tersebut .

1. Seleksi

Seleksi adalah pemilihan 2 kromosom dari populasi. Kromosom ini akan menghasilkan 2 anak (*offspring*) yang nantinya akan menggantikan posisi induknya pada populasi.

Macam macam seleksi :

a. *Pairing from top to bottom*

Memilih sepasang kromosom dengan cara mengambil sepasang kromosom mulai dari atas ke bawah. Seleksi ini menggunakan barisan ganjil dan genap. Maksudnya untuk ibu (induk 1) diambil dari barisan ganjil $ma=1,3,5,\dots$ dan untuk ayah (induk2) diambil dari barisan genap $pa=2,4,6,\dots$. Pendekatan seperti ini bukanlah sifat alami, tapi ini salah satu cara untuk pemula untuk mencoba.

b. *Random pairing*

Pendekatan ini menggunakan sifat acak (*random*). Maksudnya dalam *random pairing* akan memilih sepasang kromosom secara acak, yang berarti semua kromosom dalam populasi memiliki kesempatan untuk terpilih sebagai induk (ma dan pa).

c. *Rank Weighting*

Pemilihan induk menggunakan pendekatan ini dilakukan secara ranking, jadi setiap kromosom akan diranking berdasarkan nilai fitness.

d. *Roulette wheel*

Seleksi ini menggunakan prinsip permainan roda rolet. Setiap individu atau calon induk akan dibagi-bagi pada luasan roda rolet. Cara pembagiannya adalah dengan mempertimbangkan nilai *fitness* setiap individu. Jika *fitness* individu semakin baik, maka akan mendapatkan luasan yang lebih besar dari pada individu yang memiliki fitness lebih buruk.

Individu yang memiliki *fitness* lebih baik memiliki kemungkinan lebih besar terpilih daripada individu lainnya. Tetapi tidak menutup kemungkinan individu yang lebih buruk juga akan terpilih, karena angka yang digunakan adalah random, hanya saja individu yang memiliki *fitness* lebih baik memiliki luasan lebih besar.

2. Perkawinan Silang (*crossover*)

Crossover adalah operator genetika yang mana melakukan kombinasi dari dua kromosom (induk) untuk menghasilkan kromosom baru atau anak (*offspring*). Ide dari *crossover* itu sendiri adalah kromosom baru (*offspring*) mungkin lebih baik daripada kromosom induknya. *Crossover* akan terjadi selama proses evolusi dengan adanya probabilitas *crossover*. Maksudnya selama evolusi belum tentu selalu terjadi *crossover*. Dengan mengacu referensi [9] nilai PC berkisar antara 0 sampai 1.

Macam-macam *crossover* :

a. *One-point crossover*

Jenis *crossover* ini akan memilih satu titik kemudian mengkopy setiap gen sebelum titik pada induk 1 dan setiap gen setelah titik pada induk 2 seperti pada gambar 2.7.

Induk 1	→	0	1	1	0	0	1	0	1
Induk 2	→	0	1	0	0	1	0	0	1

Setelah proses *crossover* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1	→	0	1	1	0	1	0	0	1
Anak 2	→	0	1	0	0	0	1	0	1

Gambar 2.7 Crossover satu titik.

b. *Two-point crossover*

Jenis *crossover* ini akan memilih dua titik, kemudian melakukan pertukaran pada kedua kromosom (induk) untuk menghasilkan 2 anak (*offspring*) seperti pada gambar 2.8.

Induk 1	→	0	1	1	0	0	1	0	1
Induk 2	→	0	1	0	0	1	0	0	1

Setelah proses *crossover* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1	→	0	1	0	0	1	0	0	1
Anak 2	→	0	1	1	0	0	1	0	1

Gambar 2.8 Crossover dua titik

3. Mutasi (*mutation*)

Mutasi adalah operator genetika yang menukar nilai salah satu gen pada kromosom anak (*offspring*) dengan nilai inversnya, yaitu nol menjadi satu atau satu menjadi nol. Sama dengan *crossover*, mutasi juga memiliki probabilitas sesuai dengan referensi [9] nilai PM memiliki nilai yang kecil.

Operator mutasi yang melakukan penukaran nilai (*invers*) pada gen yang terpilih seperti pada gambar 2.9.

Induk 1	→	0	1	1	0	0	1	0	1
Induk 2	→	0	1	0	0	1	0	0	1

Setelah proses *mutasi* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1	→	0	1	0	0	0	1	0	1
Anak 2	→	0	1	0	0	1	1	0	1

Gambar 2.9 Mutasi dua titik

2.5.3.3 Evaluasi Individu

Setelah proses perkawinan silang (*crossover*) dan mutasi, maka *offspring* akan dievaluasi sehingga menghasilkan *fitness*. *Fitness offspring* 1 dan 2 dipilih yang terbaik sebagai *fitness* generasi ke i. Proses ini akan terus dilakukan (*looping*) hingga generasi yang telah ditentukan.

2.5.3.4 Elitism

Elitism merupakan proses penyimpanan nilai *fitness* setiap generasi. Setiap generasi memiliki nilai *fitness* yang berbeda-beda. Tidak ada jaminan nilai *fitness* setiap generasi menjadi lebih baik, sehingga digunakanlah cara elitism untuk menyimpan dan *update* nilai *fitness* yang terbaik setiap generasi. *Fitness* yang akan disimpan atau di-*update* merupakan *fitness* yang terbaik dan memenuhi semua kriteria (*constraint*).

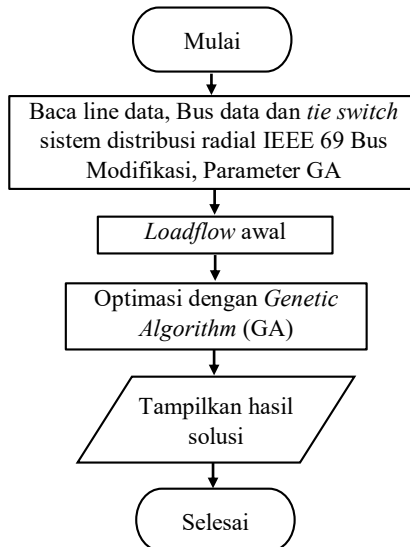
2.5.3.5 Pemilihan Individu Terbaik

Proses ini adalah proses terakhir dalam metoda *Genetic Algorithm* (GA). Pemilihan individu terbaik dapat diambil dari *fitness* terbaik yang telah disimpan dengan cara *elitism*. *Fitness* terbaik ini berupa nilai yang memiliki solusi dari permasalahan. Dari pemilihan individu ini didapatlah *fitness* terbaik dengan solusi terbaik.

BAB III

DESAIN SISTEM OPTIMASI

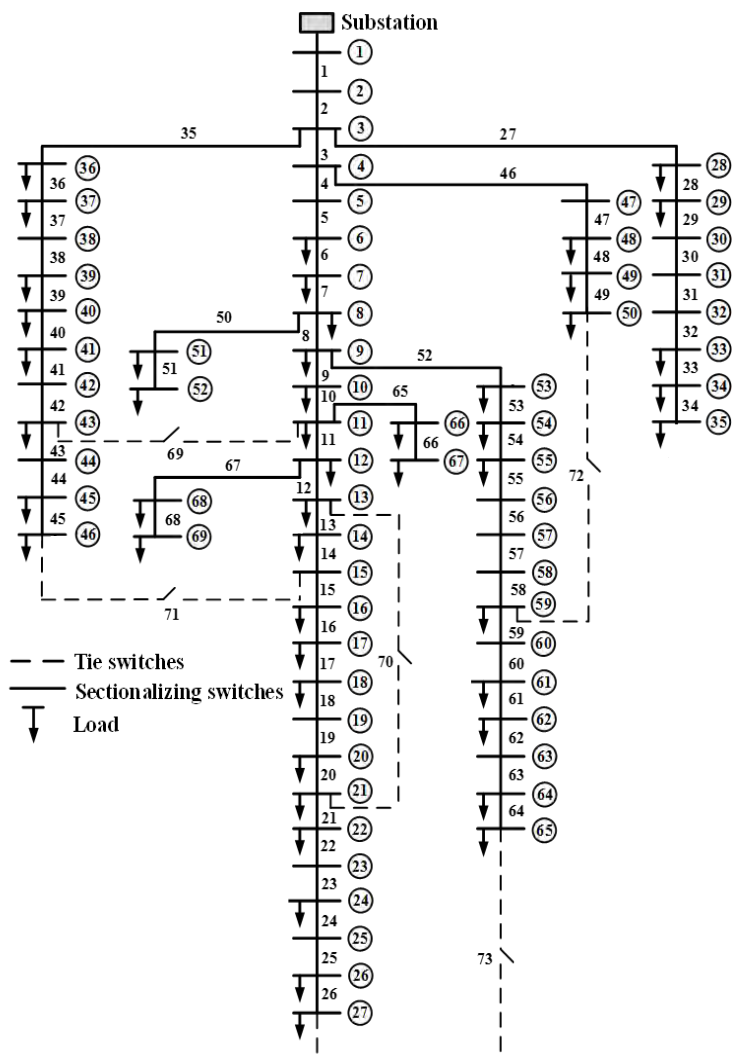
Pada bab ini akan dijelaskan tentang bagaimana penentuan lokasi yang optimal pada DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang tepat menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Metode ini diterapkan terhadap sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi standart IEEE dengan tujuan untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG.



Gambar 3.1 Flowchart alir proses optimasi

3.1 Sistem Distribusi Radial IEEE 69 Bus Modifikasi

Pada tugas akhir ini menggunakan sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi seperti pada gambar 3.2 dengan tegangan 12.66 kV. Pemilihan sistem ini dikarenakan pada sistem ini sudah terdapat *tie switch* dan *sectionalizing switch* dan jumlah bus yang besar. Sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi terdiri dari 69 bus dan 5 *tie switch* dengan beban daya aktif dan reaktifnya adalah 5,55 MW dan 3,96 MVar. Untuk data *load bus*, *branch data*, *line data* dan *tie switch* dapat dilihat pada lampiran 1.



Gambar 3.2 Sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi

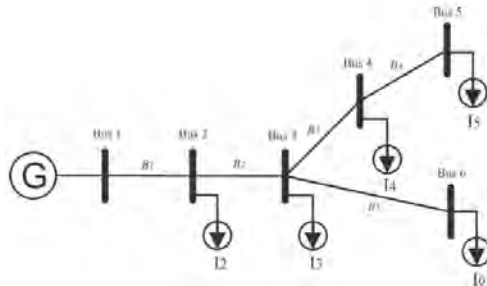
3.2 Aliran Daya

Analisa dan evaluasi aliran daya sangat penting untuk sistem distribusi. Untuk menganalisa dan evaluasi aliran daya tersebut digunakanlah sebuah metoda. Pada tugas akhir ini untuk aliran daya menggunakan metoda *Forward – Backward Sweep* yang merujuk pada referensi [10]. Analisa aliran daya untuk mendapatkan nilai tegangan setiap bus dan arus yang mengalir disepanjang saluran. Berikut tahapan dari metoda *Forward – Backward Sweep* :

1. Langkah pertama yang dilakukan adalah *backward sweep*, yaitu menghitung besar arus yang mengalir pada saluran di awali pembentukan matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*) , kemudian besar arus saluran dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$I_k = \left(\frac{P_k + jQ_k}{V_k} \right)^* \quad (3.1)$$

Dimana I_k, P_k, jQ_k, V_k adalah nilai arus, daya aktif, daya reaktif dan tegangan pada bus k



Gambar 3.3 Contoh single line diagram

Dari gambar 3.3 dapat dibentuk matrik BIBC. Angka 1 menyatakan hubungan antara arus dan saluran dan angka 0 menyatakan tidak ada hubungan antara keduanya

Matrik BIBC :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

Angka 1 menyatakan hubungan antara arus dan saluran dan angka 0 menyatakan tidak ada hubungan antara keduanya.

Matrik BIBC dapat disederhanakan menjadi :

$$[B] = [\mathbf{BIBC}][I] \quad (3.2)$$

2. Langkah kedua adalah *forward sweep* untuk menghitung nilai drop tegangan pada setiap bus yang diawali dengan pembentukan matrik BCBV (*Brunch Current to Brunch Voltage*). Berikut adalah contoh matrik BCBV yang menyatakan hubungan antara tegangan bus dan arus saluran:

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

Dari matrik BCBV di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$[\Delta V] = [\mathbf{BCBV}][B] \quad (3.3)$$

Kemudian didapatkan persamaan untuk matrik ΔV , persamaan yang didapat adalah sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [\mathbf{BCBV}][\mathbf{BIBC}][I] \quad (3.4)$$

$$[\Delta V] = [\mathbf{DLF}][I] \quad (3.5)$$

Dengan menggunakan matrik BIBC, BCBV dan ΔV dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus dengan persamaan :

$$[V_i] = [V_i] - [\Delta V] \quad (3.6)$$

3.3 Proses Optimasi Menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

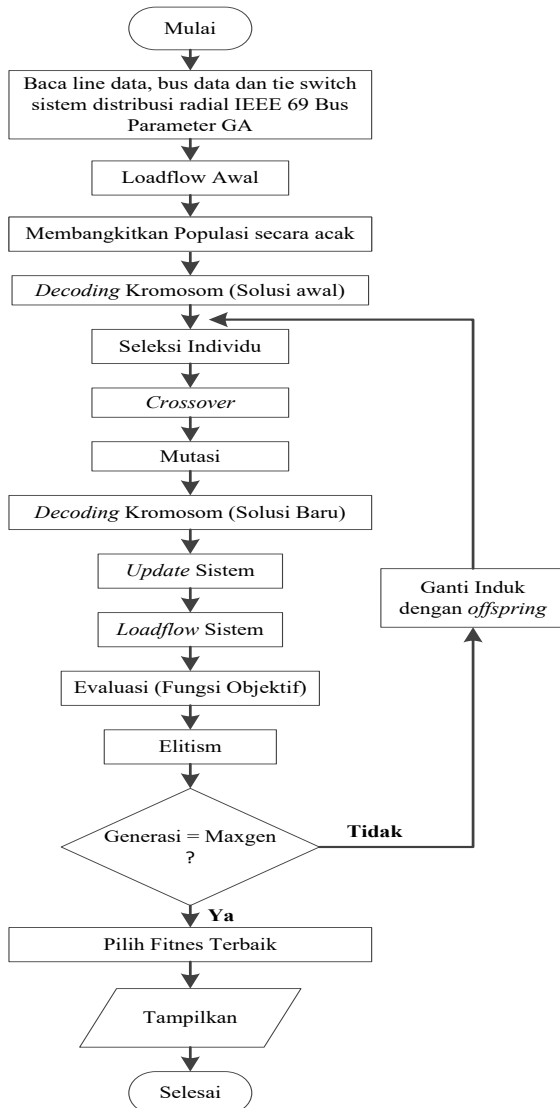
Pada Bab sebelumnya sudah dibahas proses metoda *Genetic Algorithm* (GA) secara umum, pada sub-bab ini akan dibahas proses metoda *Genetic Algorithm* (GA) untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG dengan beberapa kasus yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus.

- a. Pembacaan data dan parameter
Proses pertama ini adalah adalah pembacaan data sistem distribusi IEEE 69 bus berupa line data, bus data, tie switch. Kemudian parameter *Genetic Algorithm* (GA) dan parameter lainnya.
- b. *Load flow* awal
Hal ini dilakukan untuk mengetahui keadaan awal sistem sebelum dilakukan optimasi. Sehingga didapatkan keadaan tegangan awal, jumlah daya aktif (MW) dan daya reaktif (Mvar) sistem. Kedua nilai ini akan digunakan sebagai nilai pembanding dan nilai batasan injek daya DG dan kapasitor.
- c. Membangkitkan Populasi
Ukuran populasi yang dibangkitkan sesuai dengan keinginan, misalnya 10, 20, 50 dan seterusnya. Populasi dibangkitkan secara acak yang mana bernilai angka biner nol dan satu. Kemudian Nsbit dari tiap kromosom tergantung dari *Kasus* yang dilakukan.
- d. *Decoding* Kromosom
Semua kromosom akan diuraikan (*parsing*) berdasarkan kasus yang dilakukan. Kemudian semua kromosom pada populasi akan diartikan (*decoding*) dan menghasilkan solusi awal.
- e. Evolusi
Pada proses ini dimulailah proses penseleksian induk (*random selection*), kemudian *crossover*, mutasi sehingga menghasilkan anak baru (*offspring*). Proses evolusi ini akan terus terjadi (perulangan) hingga mencapai generasi yang telah ditentukan. Kemudian ada parameter sebagai berikut :
 - Maxgen
Merupakan jumlah perulangan (iterasi) dilakukannya rekombinasi dan seleksi.
 - Popsiz
Memengaruhi dari kinerja dan efektifitas dari *Genetic Algorithm* (GA). Ukuran populasi kecil, maka tidak menyediakan cukup ruang materi untuk mencakup

ruang permasalahan (GA buruk). Banyak aplikasi GA popsize berukuran 5-100.

- Probabilitas Crossover (PC)
Digunakan untuk mengendalikan frekuensi operator crossover. Semakin besar nilai PC, maka semakin cepat struktur baru diperkenalkan dalam populasi. PC berkisar antara 0.65-1.
- Probabilitas Mutasi (PM)
Digunakan meningkatkan variasi populasi, menentukan tingkat mutasi yang terjadi. Bila PM kecil, menyebabkan gen-gen yang berpotensi tidak dicoba untuk mutasi. PM berkisar antara 0.001-0.01.
- Evaluasi
Anak baru (*offspring*) yang mengalami perubahan gen-gen dari induknya akan diartikan (*decoding*) sehingga menghasilkan solusi. Solusi ini akan di terapkan pada sistem IEEE 69 bus (update sistem) kemudian dilakukan *load flow*. Dari hasil *load flow* didapatkan nilai tegangannya dan disimpan di dalam *fitness* i
- *Fitness* terbaik
Setelah melakukan evaluasi maka dilakukan pemilihan individu yang memiliki *fitness* terbaik berdasarkan batasan (*constraint*) yang ada. Sehingga individu yang akan dipilih nantinya merupakan individu yang sudah memenuhi kriteria atau *constraint* dan memiliki *fitness* terkecil. Di dalam individu ini sudah terdapat solusi dari *Kasus* optimasi yang dilakukan.

Gambar 3.4 merupakan *flowchart* dari optimasi untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG yang dilakukan menggunakan metode *genetic algorithm* (GA).



Gambar 3.4 *Flowchart* proses optimasi dengan menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

3.4 Penerapan *Genetic Algorithm* (GA) pada Optimasi

Optimasi untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada tugas akhir ini menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA). Pemilihan metoda ini dikarenakan metoda ini memiliki kelebihan dalam melakukan kombinasi, sehingga dapat digunakan untuk optimasi dari kombinasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor. Kemudian untuk melakukan simulasi optimasi dilakukan pada *software* MATLAB, sehingga untuk setiap teknik optimasi dimodelkan ke dalam komponen dan parameter *Genetic Algorithm* (GA) pada *software* MATLAB. Berikut adalah pemodelan yang dilakukan :

- a. Pemodelan rekonfigurasi jaringan dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- b. Pemodelan penempatan DG dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- c. Pemodelan penempatan kapasitor dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- d. Pemodelan rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara simultan dengan *Genetic Algorithm* (GA)
- e. Pemodelan rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara simultan dengan *Genetic Algorithm* (GA)

3.4.1 Perancangan Komponen dan Parameter *Genetic Algorithm* (GA)

- a. Gen

Dalam tugas akhir ini menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA) jenis biner, sehingga parameter gen disini berupa angka biner nol dan satu. Setiap gen memiliki dan mengandung nilai tersendiri.
- b. Kromosom

Kromosom merupakan kumpulan dari gen-gen yang membentuk individu, banyaknya gen di dalam kromosom tergantung dari optimasi yang dilakukan dan jumlah DG dan kapasitor yang akan dioptimasi.
- c. Individu

Individu merupakan representasi dari sebuah kromosom. Pada tugas akhir ini individu membawa nilai *fitness* berupa tegangan minimum dan solusi berupa status tutup dan buka *tie switch* dan

sectionalizing, penempatan DG dan kapasitor beserta kapasitas daya yang diinjekkkan.

d. Populasi

Dalam tugas akhir ini, dilakukan beberapa kali percobaan (*trial*) untuk mendapatkan berapa besar ukuran populasi (*popsi*) yang dianggap sudah dapat menemukan solusi di setiap optimasi. Pada tugas akhir ini besarnya populasi adalah 50.

e. *Fitness*

Perhitungan *fitness* masing-masing individu dilakukan berdasarkan fungsi-fungsi tujuan yang ingin dicapai dalam penempatan dan penentuan kapasitas optimal DG ini. Setiap individu akan menghasilkan nilai *fitness* yang berbeda. Kemudian Evaluasi *fitness*, merupakan tahap yang paling menentukan dalam pengambilan nilai optimasi dari suatu permasalahan. Pada tahap ini, hasil dari pembaruan data bus berdasarkan daya keluaran dan lokasi dari DG atau kapasitor, serta pembaruan data saluran melalui optimasi rekonfigurasi jaringan akan di evaluasi *fitness*nya. Hal tersebut dilakukan guna mengetahui hasil yang diperoleh telah atau belum memenuhi batasan atau *constraint* yang diberikan.

Pada tugas akhir ini, fungsi objektif yang diinginkan dari penentuan lokasi DG dan kapasitor, serta rekonfigurasi jaringan ialah memaksimalkan keluaran daya aktif DG pada system[11].

Fungsi objektif,

$$\text{Maximize } F(x) = \sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i} \quad (3.7)$$

Dimana,

P_{DG} keluaran daya aktif pada DG ke-*i*

N_{DG} jumlah unit DG yang dipasang pada jaringan

Disetiap optimasi harus ada *constraint* atau batasan sebagai kriteria dalam pemilihan solusi dan *fitness*. Pada tugas akhir ini ada beberapa kriteria atau *constraint* yang harus dipenuhi :

a. *Constraint* tegangan

Merupakan batasan *under* dan *over voltage* pada setiap bus pada saat pemilihan individu terbaik, sehingga nantinya menghasilkan tegangan yang tidak melewati *constraint* tegangan tersebut. Sesuai referensi [12] *constrain* tegangan yang harus dipenuhi adalah :

$$0,95 \text{ pu} \leq V_i \leq 1,05 \text{ pu} \quad (3.8)$$

b. *Constraint* injek daya aktif (P (MW)) dari DG

Merupakan batasan maksimal daya aktif DG yang diinjekkan ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas DG yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai referensi [13] maksimum daya aktif yang diinjekkan adalah total daya aktif sistem.

$$\sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{DG_i} \leq \sum_{j=i}^{N_l} P_D(j) \quad (3.9)$$

c. *Constraint* injek daya reaktif (Q (MVar)) dari kapasitor.

Merupakan batasan maksimal daya reaktif kapasitor yang diinjekkan ke dalam sistem, sehingga nantinya menghasilkan *size* atau kapasitas kapasitor yang tidak melewati *constraint* tersebut. Sesuai referensi [13] *constrain* injek daya reaktif yang harus dipenuhi adalah :

$$\sum_{i=1}^{N_c} Q_c(i) + \sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG}(i) \leq \sum_{j=2}^n Q_D(j) \quad (3.10)$$

f. Max Generasi

Max generasi merupakan jumlah generasi dari hasil perkawinan silang (*crossover*) atau keturunan yang ingin digunakan dalam satu kali proses evolusi. Pada tugas akhir ini dilakukan beberapa kali percobaan dimana pada generasi berapa tidak ada lagi perubahan atau tidak ada lagi individu yang lebih baik. Kemudian baru menentukan berapa max generasi. Untuk optimasi digunakan max generasi 100.

g. *Crossover*

Cross Over (perkawinan silang) merupakan salah satu operator dalam algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru. *Cross over* dilakukan dengan melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak. Proses *cross over* dilakukan pada setiap individu dengan probabilitas *cross over* yang ditentukan yakni sebesar 0.95. Apabila nilai acak yang dihasilkan saat pembangkitan generasi kurang dari probabilitas *cross over* maka akan dilakukan proses *cross over*.

Probability crossover (PC), Sesuai dengan referensi [9] kemungkinan terjadinya *crossover* adalah diantara 0 – 1 dan dipilih 0,8. Pada tugas akhir ini menggunakan PC 0,95. Pemilihan ini bertujuan untuk memberikan kemungkinan terbesar agar terjadinya *crossover*, sehingga setiap generasi mengalami perubahan dan ini akan mempercepat menemukan solusi dan proses *konvergensi*.

Pada tugas akhir ini, metode *cross over* yang digunakan adalah *cross over* satu titik. Pada metode satu titik, masing-masing kromosom orang tua dibagi menjadi dua bagian lalu saling di pindah silangkan dan menghasilkan 2 keturunan. Berikut ini merupakan gambar 3.5 yang menunjukkan proses *cross over* satu titik pada algoritma genetika.

Induk 1 →	0	1	1	0	0	1	0	1
Induk 2 →	0	1	0	0	1	0	0	1

Setelah proses *crossover* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak 1 →	0	1	1	0	1	0	0	1
Anak 2 →	0	1	0	0	0	1	0	1

Gambar 3.5 *Crossover* satu titik

h. Mutasi

Proses mutasi adalah operator genetika yang menukar nilai salah satu gen pada kromosom anak (*offspring*) dengan nilai inversnya, yaitu nol menjadi satu atau satu menjadi nol. Sama dengan *crossover*.

Probability mutation (PM), Sesuai dengan referensi [9] kemungkinan terjadinya mutasi bernilai kecil dengan nilai 0,1. Pada tugas akhir ini menggunakan PM 0,05. Pemilihan ini bertujuan untuk memberikan kemungkinan terkecil agar terjadinya mutasi.

Pada tugas akhir ini, metode mutasi yang digunakan adalah mutasi jenis satu titik yang ditunjukkan pada gambar 3.6.

Induk →

0	1	0	0	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Setelah proses *mutasi* maka akan terbentuk anak (*offspring*) dengan perubahan gen sebagai berikut :

Anak →

0	1	0	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Gambar 3.6 Mutasi satu titik

i. *Elitism*

Pada setiap generasi yang dilakukan akan diperoleh sejumlah *fitness* yang menggambarkan seberapa baik individu tersebut. Dimana pada tugas akhir ini *fitness* berupa nilai tegangan dengan konfigurasi kromosom tertentu. Untuk tiap generasi terdapat satu nilai *fitness* terbaik yang mewakili tegangan terkecil. Nilai *fitness* yang terdapat dalam individu akan terus berubah pada tiap generasinya. Oleh karena itu, maka diperlukan sebuah tempat atau wadah yang dapat menampung individu pada tiap generasi dengan *fitness* terbaik. Individu yang memiliki nilai *fitness* paling baik dari sejumlah generasi yang ditentukan akan di masukkan ke wadah tersebut. Proses ini disebut dengan *elitism* dimana hasil akhirnya adalah solusi terbaik yang akan dicetak berupa lokasi dan daya keluaran dari DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang terbaik.

3.4.2 Pemodelan Rekonfigurasi Jaringan dengan *Genetic Algorithm* (GA)

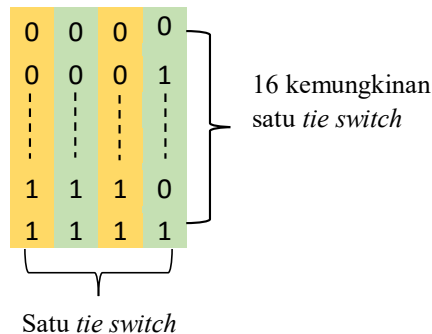
Berikut merupakan pemodelan untuk optimasi rekonfigurasi jaringan :

a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk rekonfigurasi jaringan tergantung dari jumlah kemungkinan *sectionalizing switch* yang akan terbuka dalam satu loop *tie switch*. Pada sistem distribusi IEEE 69 Bus loop terbesar memiliki 14 kemungkinan *sectionalizing switch* akan terbuka, itu artinya ketika 1 *tie switch* yang tutup maka akan ada 14 kemungkinan *sectionalizing switch* akan terbuka. Sehingga jika 14 kemungkinan di konversi ke biner menjadi 2 pangkat 4 seperti pada gambar 3.7.

Dalam optimasi rekonfigurasi jaringan juga ada kemungkinan *tie switch* tidak menutup sehingga *sectionalizing switch* tidak ada yang terbuka.

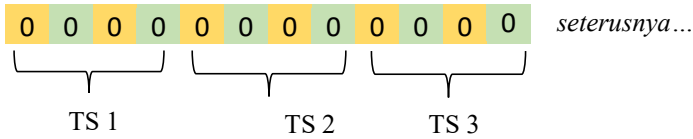
14 kemungkinan \rightarrow 16 (pembulatan) $= 2^4$



Gambar 3.7 Pengkodean biner rekonfigurasi jaringan

b. Nsbit (panjang biner)

Dari gambar 3.4 di atas, 1 *tie switch* membutuhkan 4 bit, sehingga untuk 5 *tie switch* dibutuhkan 20 bit seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Nsbit rekonfigurasi jaringan

3.4.3 Pemodelan Penempatan *Distributed Generation* (DG) dengan *Genetic Algorithm* (GA)

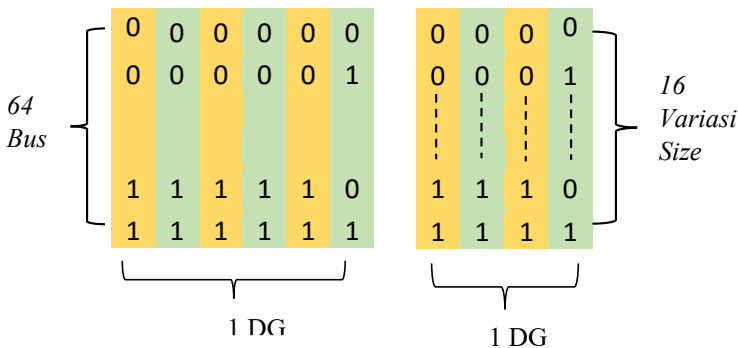
Tujuan optimasi penempatan *Distributed Generation* (DG) dalam tugas akhir ini adalah untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG. Berikut adalah pemodelan :

a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk *Distributed Generation* (DG), pertama untuk penempatan dan kedua untuk kapasitas. Untuk penempatan pengkodean biner tergantung dari jumlah bus sistem, karena menggunakan sistem distribusi IEEE 69 bus, maka jumlah busnya adalah 69 bus. Kemudian untuk pengkodean ukuran kapasitas tergantung dari berapa banyak variasi ukuran yang diinginkan. Pada tugas akhir ini DG hanya dimodelkan menghasilkan daya aktif saja. Gambar 3.9 merupakan pengkodean biner *Distributed Generation* (DG) pada tugas akhir ini.

Penempatan → 69 bus = 64 (pembulatan) = 2^6

Ukuran → diinginkan 16 variasi = 2^4

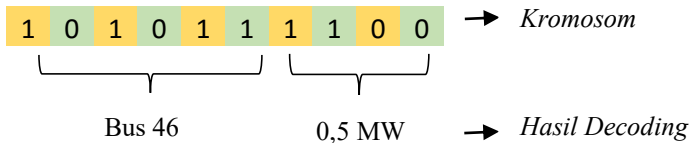


Gambar 3.9 Pengkodean biner

b. Nsbit (Panjang biner)

Untuk Nsbit satu DG membutuhkan 9 bit. Jika pemasangan DG lebih dari satu, maka jumlah bit yang dibutuhkan disesuaikan dengan jumlah DG.

Gambar 3.10 merupakan contoh *decoding* dari penempatan dan ukuran DG, dimana penempatan DG pada bus 46 dan ukurannya 0,5 MW.



Gambar 3.10 Contoh *decoding* kromosom DG

3.4.4 Pemodelan Penempatan Kapasitor dengan GA

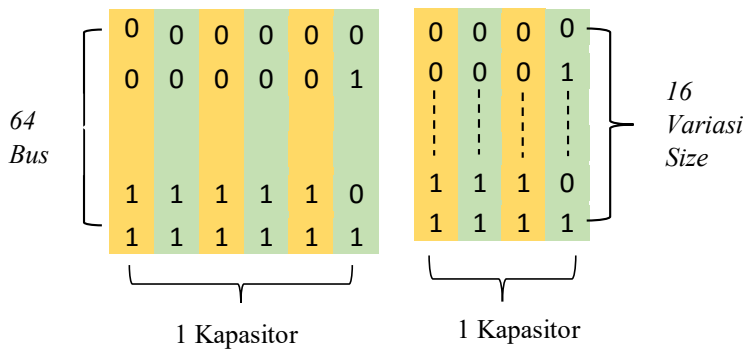
Berikut adalah pemodelan untuk optimasi penempatan kapasitor :

a. Pengkodean biner

Pengkodean biner untuk kapasitor, pertama untuk penempatan dan kedua untuk ukuran atau kapasitas. Untuk penempatan pengkodean biner tergantung dari jumlah bus sistem, karena menggunakan sistem distribusi IEEE 69 bus, maka jumlah busnya adalah 69 bus. Kemudian untuk pengkodean ukuran tergantung dari berapa banyak variasi ukuran yang diinginkan. Gambar 3.11 adalah gambar pengkodean biner kapasitor .

Penempatan → 69 bus = 64 (pembulatan) = 2^6

Ukuran → diinginkan 16 variasi = 2^4

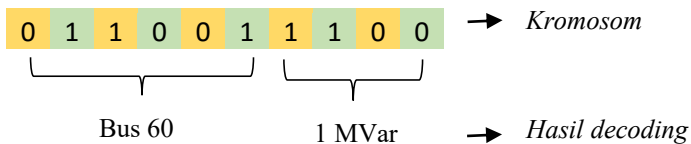


Gambar 3.11 Pengkodean biner kapasitor

b. Nsbit (Panjang biner)

Untuk Nsbit satu kapasitor membutuhkan 9 bit. Jika pemasangan kapasitor lebih dari satu, maka jumlah bit yang dibutuhkan disesuaikan dengan jumlah kapasitornya (9bit dikali jumlah kapasitor).

Gambar 3.12 merupakan contoh *decoding* dari penempatan dan ukuran kapasitor, dimana penempatan kapasitor pada bus 60 dan ukurannya 1 MVar.

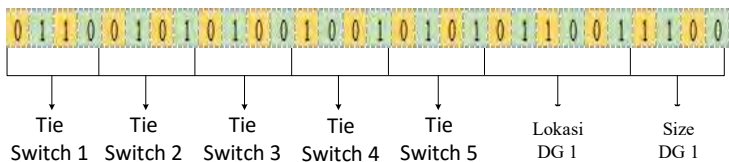


Gambar 3.12 Contoh *decoding* kapasitor

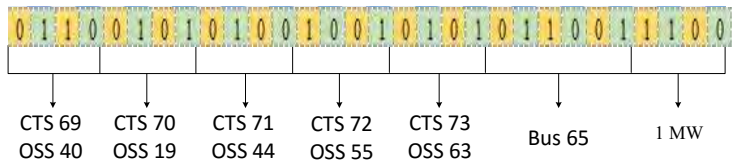
3.4.5 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan DG dengan *Genetic Algorithm* (GA)

Tujuan optimasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG dalam tugas akhir ini adalah untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG. Untuk pemodelan simultan rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG, setiap kromosom atau individu memiliki gen-gen rekonfigurasi jaringan dan DG. Maksudnya setiap individu memiliki solusi dan *fitness* untuk optimasi rekonfigurasi jaringan dan DG. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan gambar 3.13. Pada gambar 3.13 terdapat gen-gen 5 *tie switch* dan 1 DG (lokasi dan *size*).

Untuk pengkodean biner hampir sama dengan optimasi rekonfigurasi jaringan atau DG saja, bedanya pada panjang Nsbit-nya. Pada proses optimasi ini kromosom akan diartikan berdasarkan pengkodean binernya seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.13 Optimasi simultan rekonfigurasi jaringan dan DG



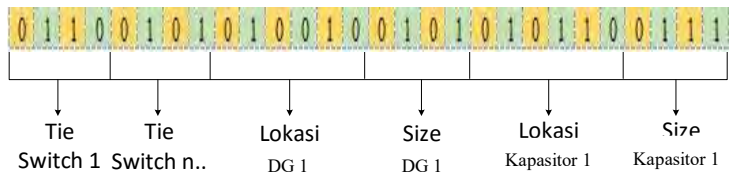
Ket: CTS (*Close Tie Switch*)
 OSS (*Open Sectionalizing Switch*)

Gambar 3.14 Contoh *decoding* kromosom optimasi simultan rekonfigurasi jaringan (5 *tie switch*) dan 1 DG

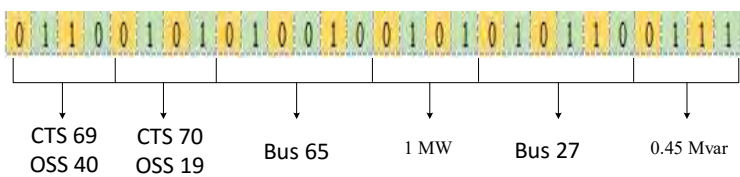
3.4.6 Pemodelan Simultan Rekonfigurasi jaringan , Penempatan DG dan Kapasitor dengan *Genetic Algorithm* (GA)

Tujuan optimasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara simultan dalam tugas akhir ini adalah untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG. Untuk pemodelannya hampir sama dengan pemodelan sebelumnya, yaitu setiap kromosom atau individu memiliki gen-gen rekonfigurasi jaringan, penempatan, DG dan kapasitor. Maksudnya setiap individu memiliki solusi dan *fitness* untuk optimasi rekonfigurasi jaringan, DG dan kapasitor seperti pada gambar 3.15.

Untuk pengkodean biner juga hampir sama dengan optimasi rekonfigurasi jaringan, atau DG saja, atau kapasitor saja bedanya pada panjang Nsbit-nya. Pada proses optimasi ini kromosom akan diartikan berdasarkan pengkodean binnernya seperti pada gambar 3.16.



Gambar 3.15 Contoh kromosom optimasi simultan rekonfigurasi jaringan, penempatan *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor



Ket: CTS (*Close Tie Switch*)
OSS (*Open Sectionalizing Switch*)

Gambar 3.16 Contoh *decoding* kromosom optimasi simultan rekonfigurasi jaringan (*tie switch n*) , 1 DG, dan 1 kapasitor

3.5 Kasus Yang Dilakukan

Dalam tugas akhir ini terdapat beberapa kasus yang dibuat untuk mengetahui pengaruh dari teknik optimasi. Berikut adalah kasus yang dilakukan [5] :

A. Sistem standar IEEE 69 bus modifikasi.

Kasus ini dilakukan untuk melihat keadaan awal pada sistem IEEE 69 bus modifikasi tanpa penempatan DG, kapasitor dan rekonfigurasi jaringan.

B. Rekonfigurasi jaringan

Kasus ini dilakukan untuk merubah topologi jaringan sistem. Perubahan dilakukan dengan menutup *tie switch* dan membuka *sectionalizing switch*.

C. Penempatan DG

Kasus ini dilakukan dengan penambahan atau penempatan DG saja pada bus-bus tertentu dengan jumlah 3 unit DG.

D. Penempatan DG dan kapasitor secara berurutan

Kasus ini dilakukan secara berurutan, maksudnya optimasi penempatan DG terlebih dahulu kemudian ditambah optimasi penempatan kapasitor.

E. Rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara *simultan*

Kasus ini dilakukan secara bersamaan, maksudnya optimasi rekonfigurasi jaringan dan optimasi penempatan DG dilakukan secara bersamaan.

F. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara berurutan

Kasus ini dilakukan rekonfigurasi jaringan terlebih dahulu, kemudian hasil rekonfigurasi jaringan dipasang DG secara paralel, kemudian hasil pemasangan DG juga dipasang kapasitor secara paralel.

G. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara *simultan*

Kasus ini dilakukan secara bersamaan, maksudnya optimasi rekonfigurasi jaringan, optimasi penempatan DG dan kapasitor dilakukan secara bersamaan.

Untuk kasus A (*base sistem*) hanya dilakukan *load flow* dan melihat nilai tegangan bus yang *under voltage*, kemudian akan digunakan sebagai pembandingan dengan sesudah optimasi. Untuk kasus B menggunakan optimasi rekonfigurasi jaringan, karena rekonfigurasi jaringan ini merupakan teknik optimasi dengan biaya paling murah. Kemudian proses penggabungan optimasi juga dilakukan secara berurutan dan *simultan*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan diantara kedua cara tersebut, sehingga dapat menentukan cara mana yang terbaik.

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada tugas akhir ini simulasi optimasi untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG yang diujikan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi dengan beberapa kasus yang sudah dibahas pada bab sebelumnya. Metode yang digunakan untuk pencarian solusi dan *fitness* terbaik pada setiap kasus adalah metode *Genetic Algorithm* (GA). Berikut adalah kasus yang dilakukan :

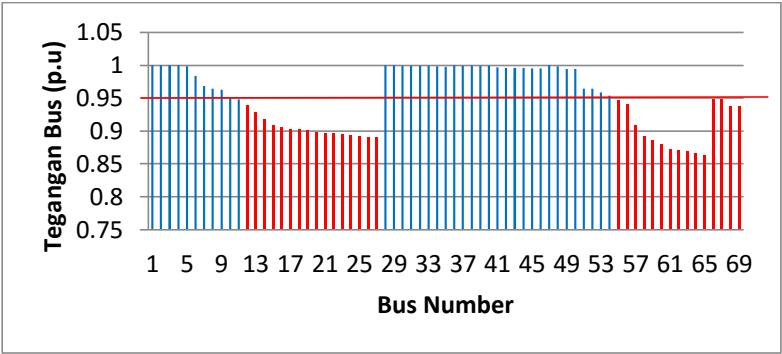
- a. Kasus A : Sistem standar IEEE 69 bus modifikasi.
- b. Kasus B : Rekonfigurasi jaringan
- c. Kasus C : Penempatan DG.
- d. Kasus D : Penempatan DG dan kapasitor.
- e. Kasus E : Rekonfigurasi dan penempatan DG secara *simultan*
- f. Kasus G : Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara berurutan.
- g. Kasus F : Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara *simultan*.

Dari setiap kasus yang dilakukan menghasilkan solusi dan *fitness* yang memiliki nilai tegangan terkecil. Solusi dan *fitness* tersebut akan dianalisa dengan tujuan mengetahui pengaruh dari teknik optimasi terhadap keluaran daya aktif DG pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus. Sehingga akan menghasilkan kesimpulan dari optimasi yang dilakukan. Pada kasus A hanya dilakukan *loadflow* saja sebagai data awal.

4.1 Kasus A - Sistem Standar IEEE 69 Bus Modifikasi.

Pada kasus A hanya dilakukan *loadflow* system, sebelum dilakukan optimasi (kasus A sampai kasus F). Tujuannya adalah mendapatkan nilai tegangan bus awal dan jumlah total daya aktif dan reaktif pada sistem. Nilai tegangan bus awal ini akan digunakan sebagai pembanding terhadap nilai tegangan bus setelah dilakukan optimasi (kasus A sampai kasus F). Jumlah total daya aktif dan reaktif ini digunakan sebagai batasan (*constraint*) untuk membatasi daya total yang diinjeksikan DG dan kapasitor. Tabel tegangan bus sistem pada keadaan awal dapat dilihat pada lampiran.

Gambar 4.1 merupakan keadaan tegangan awal sistem sebelum dilakukan optimasi (kasus A sampai kasus F). Dapat diketahui bahwa terdapat tegangan yang *Under Voltage* yaitu pada bus 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69 dan tegangan terkecil adalah sebesar 0.863541 pu pada bus 65. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa nilai tegangan bus sistem berada diluar *range* atau batasan yang diijinkan yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan acuan. Berikut adalah gambar profil tegangan bus awal sistem distribusi radial IEEE 69 Bus. Dari gambar 4.1 diketahui bahwa masih banyak tegangan bus yang mengalami *under voltage* di bawah range atau batasan yang diijinkan.



Gambar 4.1 Profi tegangan bus awal pada sistem distribusi IEEE 69 bus modifikasi

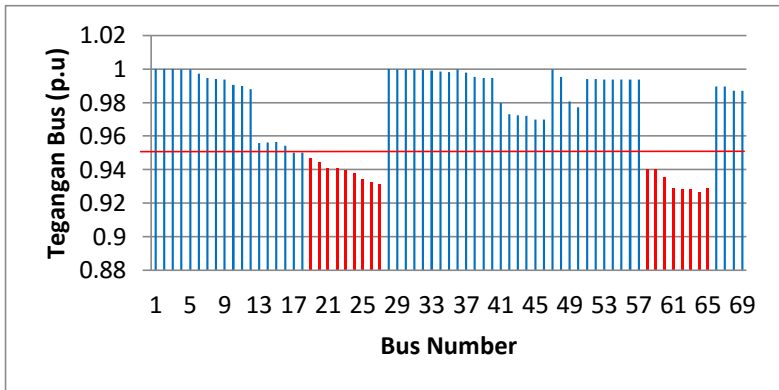
4.2 Kasus B – Rekonfigurasi Jaringan

Pada kasus B ini dilakukan rekonfigurasi yaitu melakukan perubahan topologi jaringan dengan mengubah status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch* dengan mempertahankan sistem distribusi tetap dalam keadaan radial. Berikut adalah tabel tegangan bus sistem setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi :

Tabel untuk keadaan tegangan bus setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan dapat dilihat pada lampiran. Dapat diketahui bahwa setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan tegangan bus relatif meningkat, namun masih ada tegangan yang *under voltage*. Pada bus 19, 20, 21, 22, 23, 24,

25, 26, 27, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65 dan tegangan terkecil 0.9268167 pu pada bus 64. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan nilai tegangan bus mengalami peningkatan, tetapi masih ada tegangan bus yang berada di luar *range* atau batasan yang diijinkan.

Dari hasil yang didapat ini dapat disimpulkan bahwa rekonfigurasi jaringan belum memberikan pengaruh atau dampak besar pada tegangan bus sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi. Berikut adalah gambar 4.2 profil tegangan bus setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi.



Gambar 4.2 Profil tegangan bus pada kasus B-rekonfigurasi jaringan

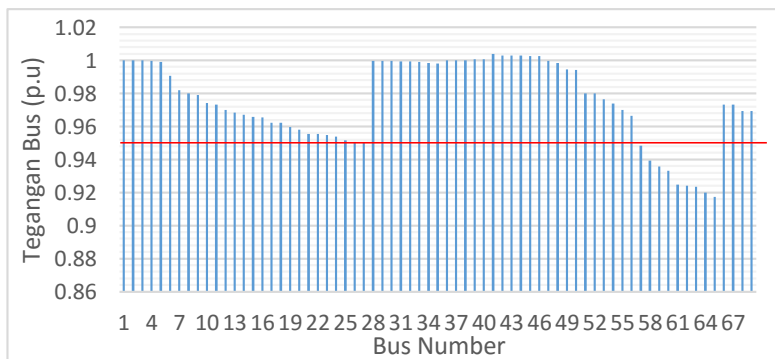
Simulasi optimasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) ini menghasilkan solusi. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch*. Berikut adalah tabel hasil pencarian simulasi kasus B (rekonfigurasi jaringan) menggunakan *Genetic Algorithm* (GA). Untuk gambar topologi jaringan setelah rekonfigurasi jaringan dapat diamati pada lampiran 2.

Tabel 4.1 Solusi Kasus B-Rekonfigurasi Jaringan menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

Rekonfigurasi Jaringan	Close Tie Switch	71, 73, 72
	Open Sectionilizing	12, 57, 64
	Tegangan Terbesar (pu)	1
	Tegangan Terkecil (pu)	0.9268167
	Bus Worst	64

4.3 Kasus C – Penempatan *Distributed Generation* (DG)

Pada kasus C ini dilakukan pemasangan *Distributed Generation* (DG). Kasus C disini pemasangan 3 unit DG. Tujuannya untuk memaksimalkan keluaran daya aktif DG dengan mempertimbangkan nilai profil tegangan bus. Pemasangan DG disini menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA), sehingga didapatkan lokasi dan ukuran daya aktif yang diinjekkan. Berikut merupakan tegangan bus sistem setelah dilakukan pemasangan DG :



Gambar 4.3 Perbandingan Profil tegangan bus kasus C-pemasangan *Distributed Generation* (DG) tanpa optimasi

Pemasangan DG. Dari gambar 4.3 diatas dapat diketahui bahwa tegangan bus masih ada beberapa yang berada diluar *range* atau batasan yang tidak diijinkan. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan

pemasangan 3 unit DG tanpa optimasi belum mampu membuat tegangan bus menjadi normal. Hal ini menunjukkan bahwa keluaran daya aktif DG akan mencapai titik maksimal atau sesuai dengan kemampuan pembangkitan yang dimiliki tapi belum membuat tegangan berada pada batas yang diijinkan.

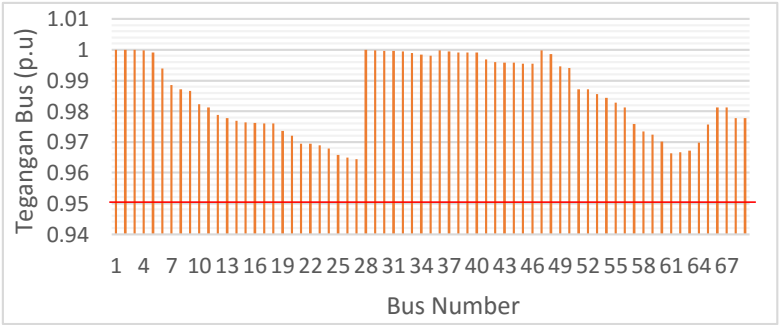
Pada table 4.2 penempatan DG disini tanpa optimasi disini, masing-masing kapasitas DG sebesar 1.23 MW untuk 3 unit. Untuk penempatan DG dilakukan dengan cara trial atau coba-coba.

Tabel 4.2 Kasus C-Penempatan DG tanpa optimasi

Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	16, 41, 60
	Kapasitas DG (MW)	(1.23), (1.23) (1.23)
	Total Kapasitas DG (MW)	3,7
	Tegangan Terbesar (pu)	1
	Tegangan Terkecil (pu)	0,91721
	Bus Worst	65

Dari gambar 4.4 untuk optimasi dapat diketahui bahwa tegangan bus sistem tidak mengalami *over voltage* maupun *under voltage* dan semua tegangan berada pada *range* yang diijinkan. Untuk gambar topologi jaringan pemasangan 3 unit DG dapat dilihat pada lampiran 3.

Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada kasus C ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini penempatan terbaik dan ukuran DG yang maksimal. Sedangkan *fitness* adalah peningkatan nilai tegangan bus.

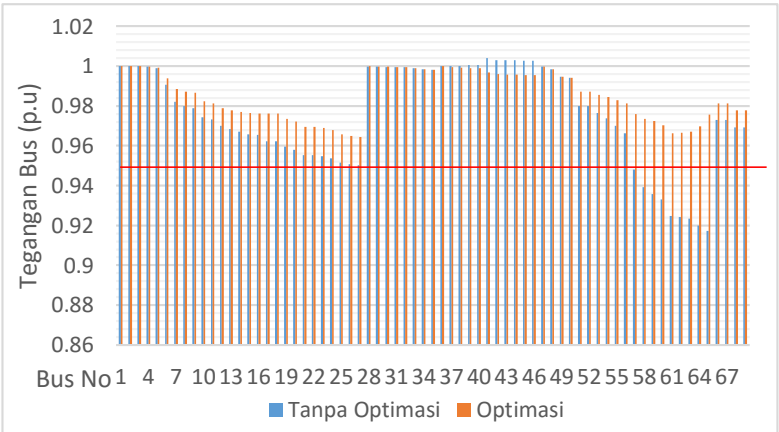


Gambar 4.4 Perbandingan Profil tegangan bus kasus C-pemasangan *Distributed Generation* (DG) dengan optimasi

Tabel 4.3 Solusi Kasus C-Penempatan DG menggunakan *Genetic Algorithm* (GA)

Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	18, 65, 59
	Kapasitas DG (MW)	(1,295), (1,295) (1.095)
	Total Kapasitas DG (MW)	3,6815
	Tegangan Terbesar (pu)	1
	Tegangan Terkecil (pu)	0,9644
	Bus Worst	27

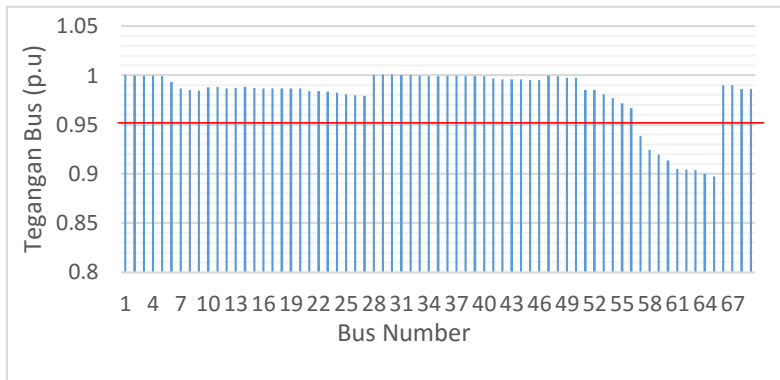
Pada optimasi penempatan DG disini, masing-masing DG dapat membangkitkan daya aktif sebesar 1.295 MW untuk DG1 pada bus 18, DG2 pada bus 65 sebesar 1.295 MW dan DG3 pada bus 59 sebesar 1.095 MW. Total daya aktif yang dapat dibangkitkan oleh DG pada optimasi ini sebesar 3.6815 MW.



Gambar 4.5 Perbandingan Profil tegangan bus kasus C-pemasangan *Distributed Generation* (DG) tanpa optimasi dengan Optimasi

4.4 Kasus D – Penempatan *Distributed Generation* (DG) dan Kapasitor

Pada kasus D ini dilakukan pemasangan DG dan kapasitor secara berurutan. Kasus D disini maksudnya dilakukan pemasangan kapasitor terlebih dahulu, kemudian hasil dari pemasangan kapasitor ditambah dengan pemasangan DG. Pemasangan DG dan kapasitor disini menggunakan metoda GA dengan tujuan mamaksimalkan keluaran daya aktif DG dengan mempertimbangkan tegangan bus, sehingga didapatkan lokasi dan kapasitas daya aktif maupun daya reaktif yang diinjekkan. Pemasangan DG dan kapasitor disini masing-masing 3 unit, 3 unit DG dan 3 unit kapasitor.



Gambar 4.6 Perbandingan Profil tegangan bus kasus D-penempatan DG dan Kapasitor tanpa optimasi

Gambar 4.6 merupakan keadaan tegangan bus setelah dilakukan pemasangan DG dan kapasitor. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa tegangan masih berada diluar *range* atau batasan yang tidak diijinkan, ada yang *under voltage*. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan pemasangan 3 unit DG dan kapasitor tanpa optimasi, belum mampu menaikkan tegangan atau belum membuat tegangan menjadi normal.

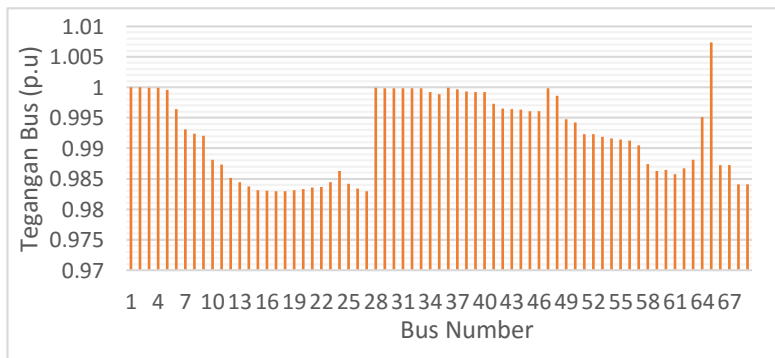
Pada tabel 4.4 penempatan DG disini tanpa optimasi disini, masing-masing kapasitas DG dan kapasitor sebesar 1.23 MW untuk 3 unit, sebesar 0.867 MVar untuk 3 unit juga. Untuk penempatan DG dan kapasitor dilakukan dengan cara trial atau coba-coba.

Tabel 4.4 Solusi Kasus D-Penempatan DG dan kapasitor tanpa optimasi

Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	20, 50, 67
	Kapasitas DG (MW)	(1.23), (1.23), (1.23)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.7
Kapasitor	Penempatan Kapasitor pada Bus	13, 43, 57
	Kapasitas Kapasitor (MVar)	(0.867), (0.867) (0.867)
	Tegangan Terbesar (pu)	1
	Tegangan Terkecil (pu)	0.8971
	Bus Worst	65

Dari gambar 4.7 untuk optimasi dapat diketahui bahwa tegangan bus sistem tidak mengalami *over voltage* maupun *under voltage* dan semua tegangan berada pada *range* yang diijinkan.

Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada kasus D ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa penempatan terbaik dan ukuran DG maupun kapasitor yang maksimal. Sedangkan *fitness* adalah peningkatan nilai tegangan bus. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi kasus D dapat diamati pada lampiran 4.

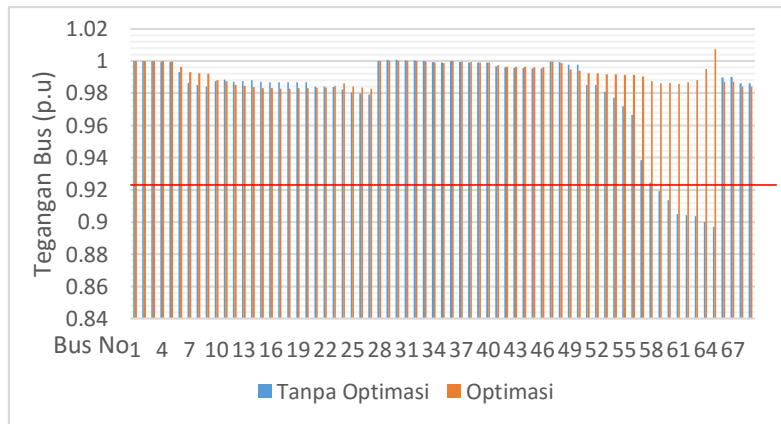


Gambar 4.7 Perbandingan Profil tegangan bus kasus D-penempatan DG dan Kapasitor dengan optimasi

Tabel 4.5 Solusi Kasus D-Penempatan DG dan kapasitor menggunakan *Genetic Algorithm (GA)*

Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	24, 33, 65
	Kapasitas DG (MW)	(1.295), (0.074), (2.3125)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.6815
Kapasitor	Penempatan Kapasitor pada Bus	13, 43, 57
	Kapasitas Kapasitor (MVar)	(0,195), (0,052) (1.625)
	Tegangan Terbesar (pu)	1
	Tegangan Terkecil (pu)	0,9829
	Bus Worst	27

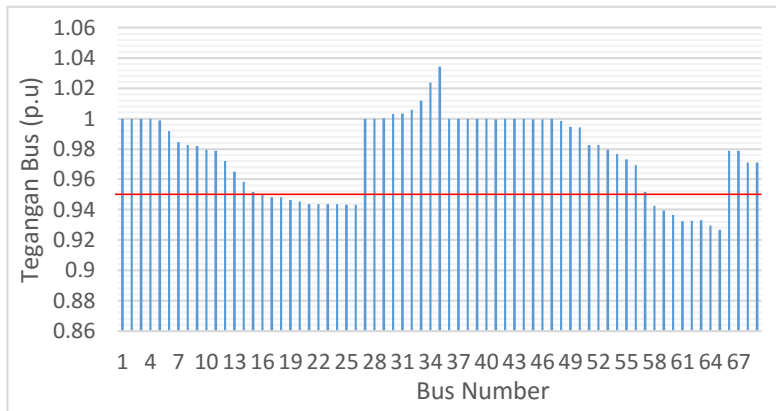
Pada tabel 4.5 optimasi penempatan DG dan kapasitor disini, masing-masing DG dapat membangkitkan daya aktif sebesar 1.295 MW untuk DG1 pada bus 24, DG2 pada bus 33 sebesar 0.074 MW dan DG3 pada bus 65 sebesar 2.3123 MW. Total daya aktif yang dapat dibangkitkan oleh DG pada optimasi ini sebesar 3.6815 MW.



Gambar 4.8 Perbandingan Profil tegangan bus kasus D-penempatan DG dan Kapasitor tanpa optimasi dengan Optimasi

4.5 Kasus E – Rekonfigurasi Jaringan dan Penempatan *Distributed Generation (DG)* Secara *Simultan*

Pada kasus E ini dilakukan rekonfigurasi jaringan dan pemasangan *Distributed Generation (DG)* secara *simultan*. Kasus E ini merupakan optimasi yang dilakukan secara bersamaan yaitu rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG dilakukan secara bersamaan. Rekonfigurasi jaringan dan pemasangan *Distributed Generation (DG)* disini menggunakan metoda *Genetic Algorithm (GA)* dengan tujuan memaksimalkan keluaran daya aktif DG dengan mempertimbangkan tegangan bus.



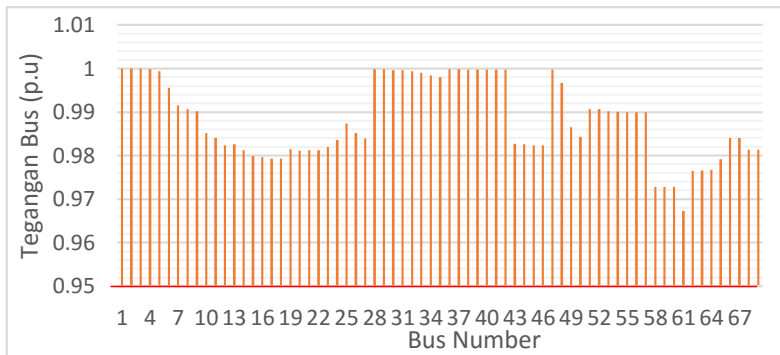
Gambar 4.9 Perbandingan Profil tegangan bus kasus E-rekonfigurasi jaringan dan Penempatan DG secara *simultan* tanpa optimasi

Gambar 4.9 merupakan keadaan tegangan bus setelah dilakukan optimasi rekonfigurasi jaringan dan pemasangan DG secara *simultan*. Dari gambar 4.9 dapat diketahui bahwa tegangan bus masih ada beberapa bus berada diluar *range* atau batasan yang tidak diijinkan, ada yang *under voltage*. Dilakukan rekonfigurasi jaringan dan pemasangan 3 unit DG tanpa optimasi belum mampu menaikkan tegangan bus atau membuat tegangan bus menjadi normal.

Pada tabel 4.6 penempatan DG disini tanpa optimasi disini, masing-masing kapasitas DG sebesar 1.23 MW untuk 3 unit dan rekonfigurasi jaringan serta penempatan DG dilakukan dengan cara trial atau coba-coba.

Tabel 4.6 Kasus E-Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan DG secara *simultan* tanpa otimasi

Rekonfigurasi Jaringan	Close Tie Switch	69, 73
	Open Sectionilizing S	26, 42
Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	11, 35, 63
	Kapasitas DG (MW)	(1.23), (1.23) (1.23)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.7
	Tegangan Terbesar (pu)	1.03
	Tegangan Terkecil (pu)	0,9268
	Bus Worst	65



Gambar 4.10 Perbandingan Profil tegangan bus kasus E-rekonfigurasi jaringan dan Penempatan DG secara *simultan* dengan Optimasi

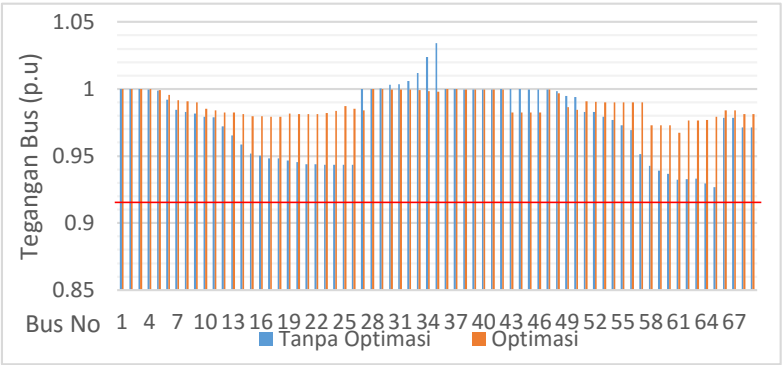
Gambar 4.10 untuk optimasi merupakan profil tegangan bus setelah dilakukan pemasangan DG dan kapasitor dengan optimasi. Dapat diketahui bahwa tegangan bus sistem tidak mengalami *over voltage* maupun *under voltage* dan semua tegangan bus berada pada *range* yang diijinkan. Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada kasus E ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionalizing switch* yang tepat, serta penempatan yang terbaik dan ukuran DG yang mkasimal. Sedangkan *fitness* adalah peningkatan nilai tegangan bus namun tidak

berbeda deengan tanpa optimasi. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi kasus E dapat diamati pada lampiran 5.

Tabel 4.7 Solusi Kasus E-Rekonfigurasi jaringan dan Penempatan DG menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) secara *simultan*

Rekonfigurasi Jaringan	Close Tie Switch	69, 70, 72, 73
	Open Sectionilizing S	18, 42, 57, 61
Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	19, 25, 60
	Kapasitas DG (MW)	(1.498), (1.905) (0.2775)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.6815
	Tegangan Terbesar (pu)	1
	Tegangan Terkecil (pu)	0,9672
	Bus Worst	61

Pada tabel 4.7 optimasi rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG secara *simultan* (bersamaan) disini, masing-masing DG dapat membangkitkan daya aktif sebesar 1.4985 MW untuk DG1 pada bus 60, DG2 pada bus 25 sebesar 1.9055 MW dan DG3 pada bus 19 sebesar 0.2775 MW. Total daya aktif yang dapat dibangkitkan oleh DG pada optimasi ini sebesar 3.6815 MW.

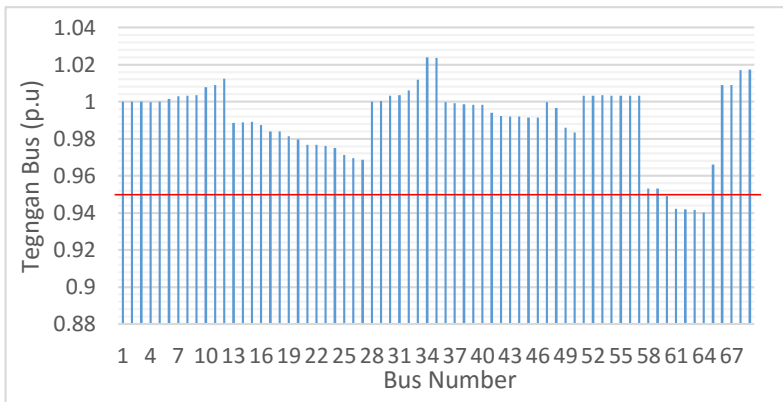


Gambar 4.11 Perbandingan Profil tegangan bus kasus E-rekonfigurasi jaringan dan Penempatan DG secara *simultan* tanpa optimasi dengan Optimasi

4.6 Kasus F – Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor secara berurutan.

Pada kasus F ini dilakukan rekonfigurasi, pemasangan *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor secara berurutan. Kasus F ini maksudnya dilakukan rekonfigurasi jaringan dahulu, kemudian hasilnya ditambah dengan pemasangan DG dan kapasitor. Berikut merupakan tegangan bus sistem setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor secara berurutan :

Gambar 4.12 merupakan keadaan tegangan bus setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor tanpa optimasi. Dapat diketahui bahwa tegangan bus masih beberapa bus yang berada diluar *range* atau batasan yang tidak diijinkan, ada yang *under voltage*. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan rekonfigurasi, pemasangan 3 unit DG dan kapasitor belum mampu menaikkan tegangan bus atau membuat tegangan normal.



Gambar 4.12 Perbandingan Profil tegangan bus kasus F-rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor tanpa Optimasi

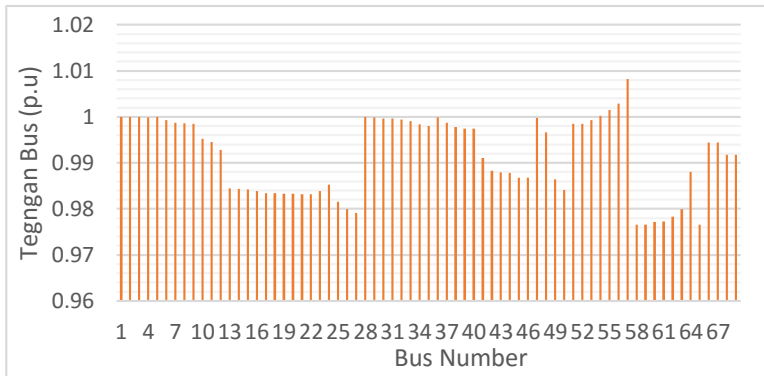
Tabel 4.8 Kasus F-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor tanpa optimasi

Rekonfigurasi Jaringan	Close Tie Switch	71, 73
	Open Sectionilizing S	13, 57
Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	15, 34, 69
	Kapasitas DG (MW)	(1.23), (1,23), (1,23)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.1442
Kapasitor	Penempatan Kapasitor pada Bus	11, 24, 60
	Kapasitas Kapasitor (MVar)	(0,867), (0,867) (0.867)
	Tegangan Terbesar (pu)	1,024
	Tegangan Terkecil (pu)	0,9402
	Bus Worst	64

Pada tabel 4.8 penempatan DG disini tanpa optimasi disini, masing-masing kapasitas DG sebesar 1.23 MW untuk 3 unit, kapasitor sebesar 0.867 MVar untuk 3 unit dan rekonfigurasi jaringan serta penempatan DG dan kapasitor dilakukan dengan cara trial atau coba-coba.

Berikut adalah gambar 4.13 untuk optimasi profil tegangan bus setelah dilakukan rekonfогurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor pada sistem distribusi radial IEEE 69 Bus dengan optimasi. Dapat diketahui bahwa tegangan bus sistem tidak mengalami *over voltage* maupun *under voltage* dan semua tegangan berada pada *range* yang diijinkan.

Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada kasus F ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch* yang tepat, serta mendapatkan lokasi penempatan terbaik dan ukuran DG maupun kapasitor yang maksimal. Sedangkan *fitness* adalah peningkatan nilai tegangan bus. Berikut adalah table 4.11 hasil simulasi kasus F menggunakan GA. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi kasus F dapat diamati pada lampiran 6.

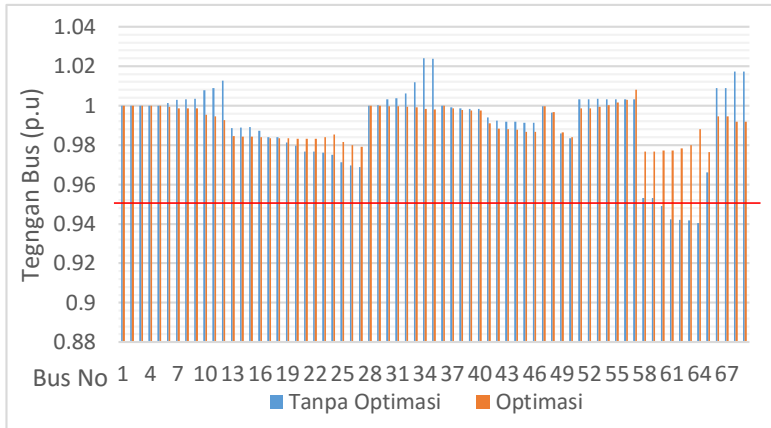


Gambar 4.13 Perbandingan Profil tegangan bus kasus F-rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor dengan Optimasi

Pada optimasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara berurutan disini, masing-masing DG dapat membangkitkan daya aktif sebesar 1.498 MW untuk DG1 pada bus 24, DG2 pada bus 59 sebesar 0.0740 MW dan DG3 pada bus 64 sebesar 2.109 MW. Total daya aktif yang dapat dibangkitkan oleh DG pada optimasi ini sebesar 3.6815 MW.

Tabel 4.9 Solusi Kasus F-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor menggunakan *Genetic Algorithm* (GA).

Rekonfigurasi Jaringan	Close Tie Switch	71, 73
	Open Sectionilizing S	12, 57
Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	24, 59, 64
	Kapasitas DG (MW)	(1.498), (0.074), (2.109)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.6815
Kapasitor	Penempatan Kapasitor pada Bus	13, 43, 57
	Kapasitas Kapasitor (MVar)	(0,195), (0,052) (1,625)
	Tegangan Terbesar (pu)	1.008
	Tegangan Terkecil (pu)	0,976534
	Bus Worst	65

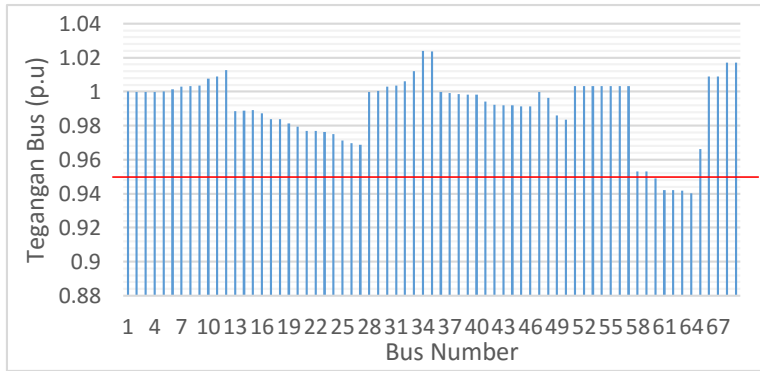


Gambar 4.14 Perbandingan Profil tegangan bus kasus F-rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara tanpa Optimasi dengan Optimasi

4.7 Kasus G - Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor secara *simultan*.

Pada kasus G ini dilakukan rekonfigurasi, pemasangan *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor sama dengan kasus F sebelumnya, bedanya disini dilakukan secara *simultan*. *Simultan* disini maksudnya adalah rekonfigurasi jaringan, *Distributed Generation* (DG) dan kapasitor dilakukan secara bersamaan . Berikut tegangan bus sistem setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara *simultan*.

Gambar 4.15 merupakan keadaan tegangan bus setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor tanpa optimasi. Dapat diketahui bahwa tegangan bus masih beberapa bus yang berada diluar *range* atau batasan yang tidak diijinkan, ada yang *under voltage*. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan rekonfigurasi, pemasangan 3 unit DG dan kapasitor belum mampu menaikkan tegangan bus atau membuat tegangan normal.

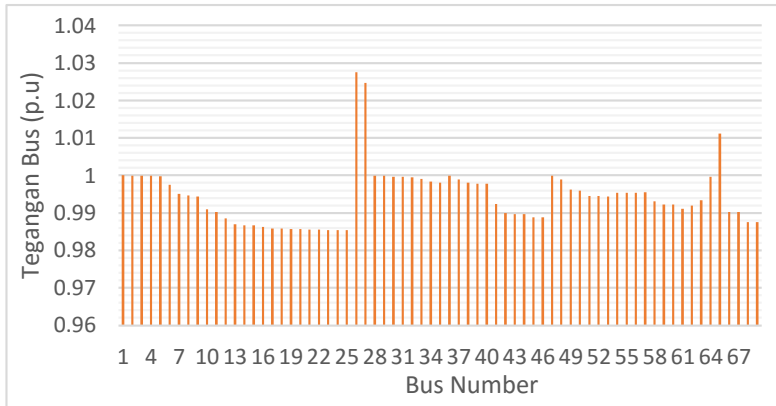


Gambar 4.15 Perbandingan Profil tegangan bus kasus F-rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor tanpa optimasi

Pada tabel 4.10 penempatan DG disini tanpa optimasi disini, masing-masing kapasitas DG sebesar 1.23 MW untuk 3 unit, kapasitor sebesar 0.867 MVar untuk 3 unit dan rekonfigurasi jaringan serta penempatan DG dan kapasitor dilakukan dengan cara trial atau coba-coba.

Tabel 4.10 Kasus F-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor tanpa optimasi

Rekonfigurasi Jaringan	Close Tie Switch	71, 73
	Open Sectionilizing S	13, 57
Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	15, 34, 69
	Kapasitas DG (MW)	(1.23), (1,23), (1,23)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.1442
Kapasitor	Penempatan Kapasitor pada Bus	11, 24, 60
	Kapasitas Kapasitor (MVar)	(0,867), (0,867) (0.867)
	Tegangan Terbesar (pu)	1,024
	Tegangan Terkecil (pu)	0,9402
	Bus Worst	64



Gambar 4.16 Perbandingan Profil tegangan bus kasus F-rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor dengan Optimasi.

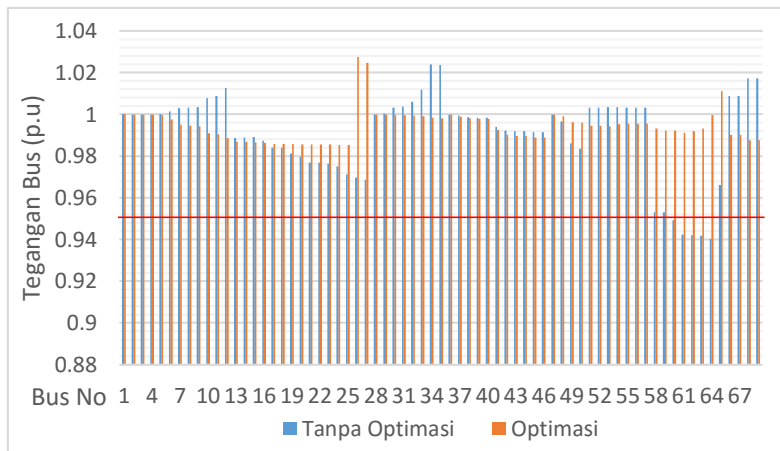
Gambar 4.16 untuk optimasi profil tegangan bus setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor pada sistem distribusi radial IEEE 69 bus modifikasi dengan optimasi. Dari gambar 4.16 dapat diketahui bahwa tegangan bus sistem tidak mengalami *over voltage* maupun *under voltage* dan semua tegangan bus berada pada *range* yang diijinkan.

Simulasi menggunakan metoda *Genetic Algorithm* (GA) pada kasus G ini menghasilkan solusi dan *fitness* terbaik. Solusi disini berupa status tutup dan buka pada *tie switch* dan *sectionilizing switch* tepat, serta mendapatkan lokasi penempatan dan ukuran DG maupun kapasitor yang maksimal. Sedangkan *fitness* adalah peningkatan nilai tegangan bus. Berikut adalah tabel 4.13 hasil simulasi kasus G menggunakan GA. Untuk gambar topologi jaringan setelah optimasi kasus G dapat diamati pada lampiran 7.

Pada optimasi rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor secara *simultan* (bersamaan) disini, masing-masing DG dapat membangkitkan daya aktif sebesar 0.074 MW untuk DG1 pada bus 13, DG2 pada bus 21 sebesar 0.6845 MW dan DG3 pada bus 26 sebesar 2.7915 MW. Total daya aktif yang dapat dibangkitkan oleh DG pada optimasi ini sebesar 3.55 MW.

Tabel 4.11 Solusi Kasus G-Rekonfigurasi Jaringan, Penempatan DG dan Kapasitor *simultan* menggunakan *Genetic Algorithm* (GA).

Rekonfigurasi	Close Tie Switch	71, 72, 73
	Open Sectionilizing S	12, 25, 53
Distributed Generation	Penempatan DG pada Bus	13, 21, 26
	Kapasitas DG (MW)	(0,074), (0,6845), (2,7915)
	Total Kapasitas DG (MW)	3.55
Kapasitor	Penempatan Kapasitor pada Bus	50, 55, 57
	Kapasitas Kapasitor (MVar)	(0,6785), (0,1725) (1,4375)
	Tegangan Terbesar (pu)	1,0275
	Tegangan Terkecil (pu)	0,98536
	Bus Worst	24, 25



Gambar 4.17 Perbandingan Profil tegangan bus kasus F-rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor tanpa optimasi dengan Optimasi.

Lampiran 1_Data beban, *Line* data dan Data *tie switch*

Tabel Data beban 67system distribusi IEEE 69 bus

Bus Number	P _L (kW)	Q _L (kVAr)	Bus Number	P _L (kW)	Q _L (kVAr)
6	2,60	2,20	37	26,00	18,55
7	40,40	30,00	39	24,00	17,00
8	75,00	54,00	40	24,00	17,00
9	30,00	22,00	41	1,20	1,00
10	28,00	19,00	43	30,00	21,50
11	145,00	104,00	45	39,22	26,30
12	145,00	104,00	46	195,00	131,50
13	40,00	25,00	48	79,00	56,40
14	8,00	5,50	49	384,70	274,50
16	45,50	30,00	50	384,70	274,50
17	60,00	35,00	51	40,50	28,30
18	60,00	35,00	52	3,60	2,70
20	1,00	0,60	53	4,35	3,50
21	570,00	405,00	54	26,40	19,00
22	5,00	3,50	55	24,00	17,20
24	28,00	20,00	59	500,00	360,00
26	14,00	10,00	61	1244,00	888,00
27	327,00	262,00	62	32,00	23,00
28	26,00	18,60	64	227,00	162,00
29	26,00	18,60	65	295,00	210,00
33	14,00	10,00	66	18,00	13,00
34	19,50	14,00	67	18,00	13,00
35	30,00	20,00	68	28,00	20,00
36	26,00	18,55	69	140,00	100,00

Tabel *Line Data* sistem distribusi IEEE 69 bus

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R (Ω)	X (Ω)
1	1	2	0,0005	0,0012
2	2	3	0,0005	0,0012
3	3	4	0,0015	0,0036
4	4	5	0,0251	0,0294
5	5	6	0,3660	0,1864
6	6	7	0,3811	0,1941
7	7	8	0,0922	0,0470
8	8	9	0,0493	0,0251
9	9	10	0,8190	0,2707
10	10	11	0,1872	0,0619
11	11	12	0,7114	0,2351
12	12	13	1,0300	0,3400
13	13	14	1,0440	0,3450
14	14	15	1,0580	0,3496
15	15	16	0,1966	0,0650
16	16	17	0,3744	0,1238
17	17	18	0,0047	0,0016
18	18	19	0,3276	0,1083
19	19	20	0,2106	0,0690
20	20	21	0,3416	0,1129
21	21	22	0,0140	0,0046
22	22	23	0,1591	0,0526
23	23	24	0,3463	0,1145
24	24	25	0,7488	0,2475
25	25	26	0,3089	0,1021
26	26	27	0,1732	0,0572
27	3	28	0,0044	0,0108
28	28	29	0,0640	0,1565
29	29	30	0,3978	0,1315
30	30	31	0,0702	0,0232
31	31	32	0,3510	0,1160
32	32	33	0,8390	0,2816
33	33	34	1,7080	0,5646
34	34	35	1,4740	0,4873

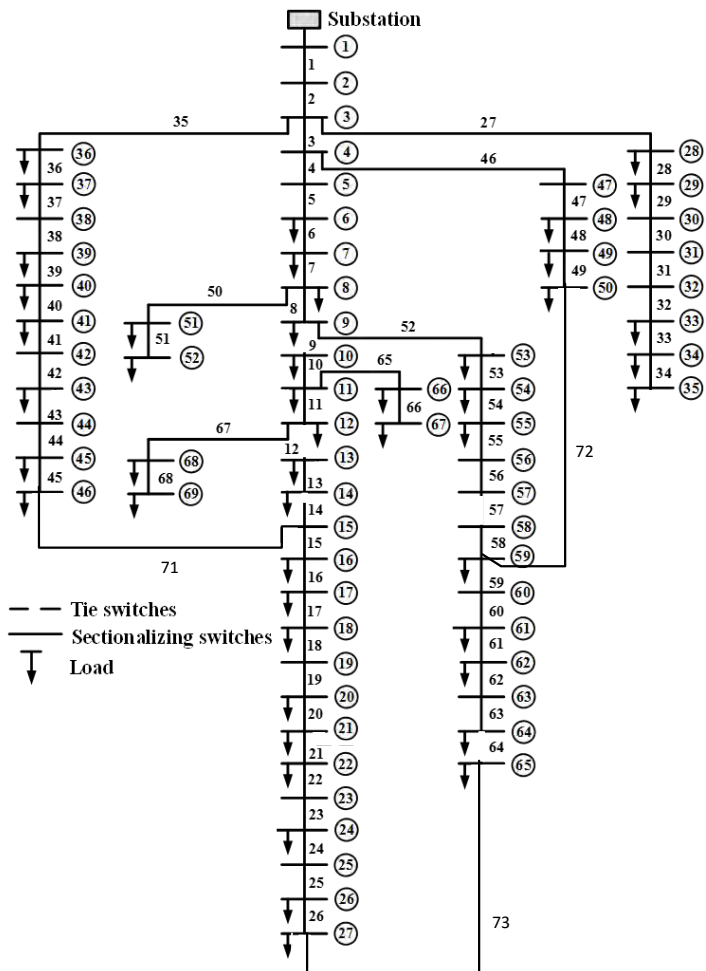
Tabel *Line Data* sistem distribusi IEEE 69 bus (lanjutan)

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R (Ω)	X (Ω)
35	3	36	0,0044	0,0108
36	36	37	0,0640	0,1565
37	37	38	0,1053	0,1230
38	38	39	0,0304	0,0355
39	39	40	0,0018	0,0021
40	40	41	0,7283	0,8509
41	41	42	0,3100	0,3623
42	42	43	0,0410	0,0478
43	43	44	0,0092	0,0116
44	44	45	0,1089	0,1373
45	45	46	0,0009	0,0012
46	4	47	0,0034	0,0084
47	47	48	0,0851	0,2083
48	48	49	0,2898	0,7091
49	49	50	0,0822	0,2011
50	8	51	0,0928	0,0473
51	51	52	0,3319	0,1114
52	9	53	0,1740	0,0886
53	53	54	0,2030	0,1034
54	54	55	0,2842	0,1447
55	55	56	0,2813	0,1433
56	56	57	1,5900	0,5337
57	57	58	0,7837	0,2630
58	58	59	0,3042	0,1006
59	59	60	0,3861	0,1172
60	60	61	0,5075	0,2585
61	61	62	0,0974	0,0496
62	62	63	0,1450	0,0738
63	63	64	0,7105	0,3619
64	64	65	1,0410	0,5302
65	11	66	0,2012	0,0611
66	66	67	0,0047	0,0014
67	12	68	0,7394	0,2444
68	68	69	0,0047	0,0016

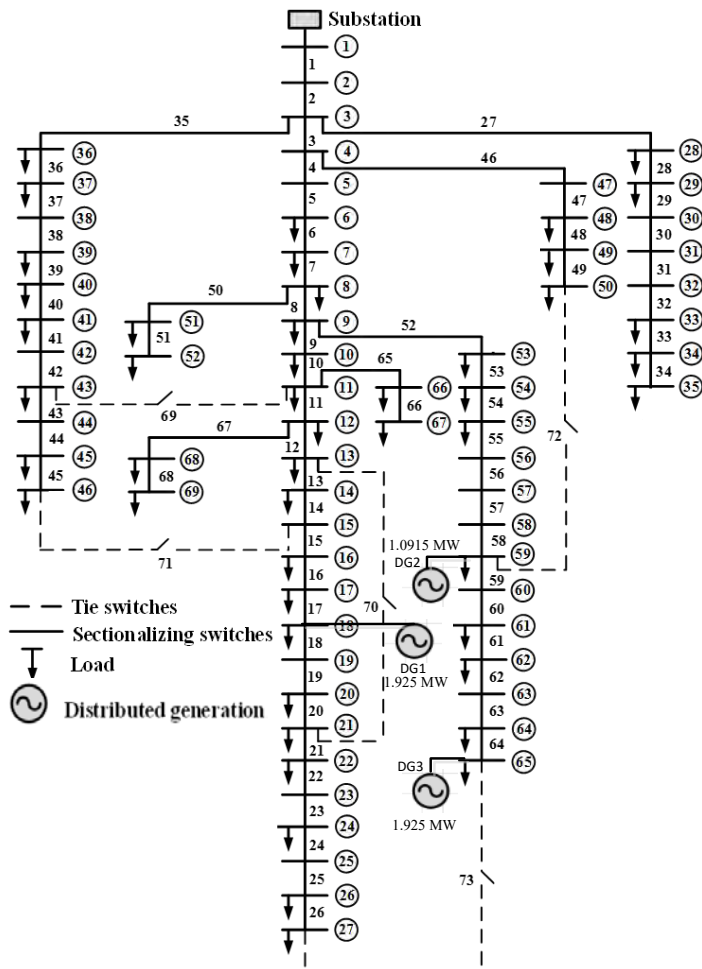
Tabel Data *tie switch*

Branch Number	Sending end bus	Receiving end bus	R (Ω)	X (Ω)
69	11	43	0,5000	0,5000
70	13	21	0,5000	0,5000
71	15	46	1,0000	0,5000
72	50	59	2,0000	1,0000
73	27	65	1,0000	0,5000

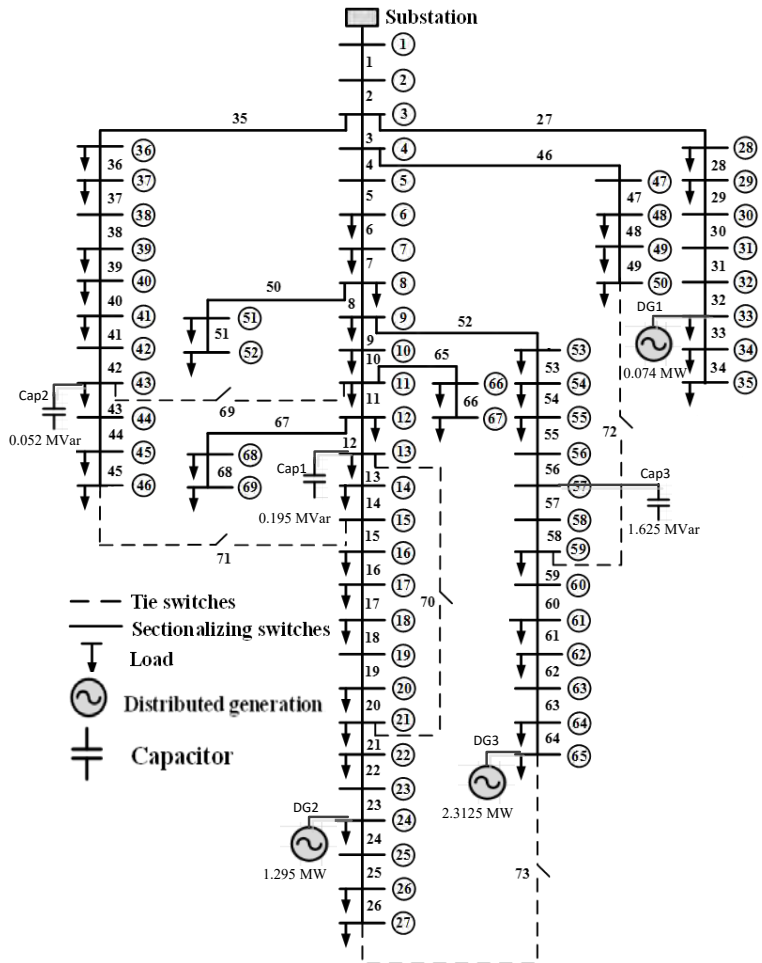
Lampiran 2_Kasus B-Rekonfigurasi Jaringan



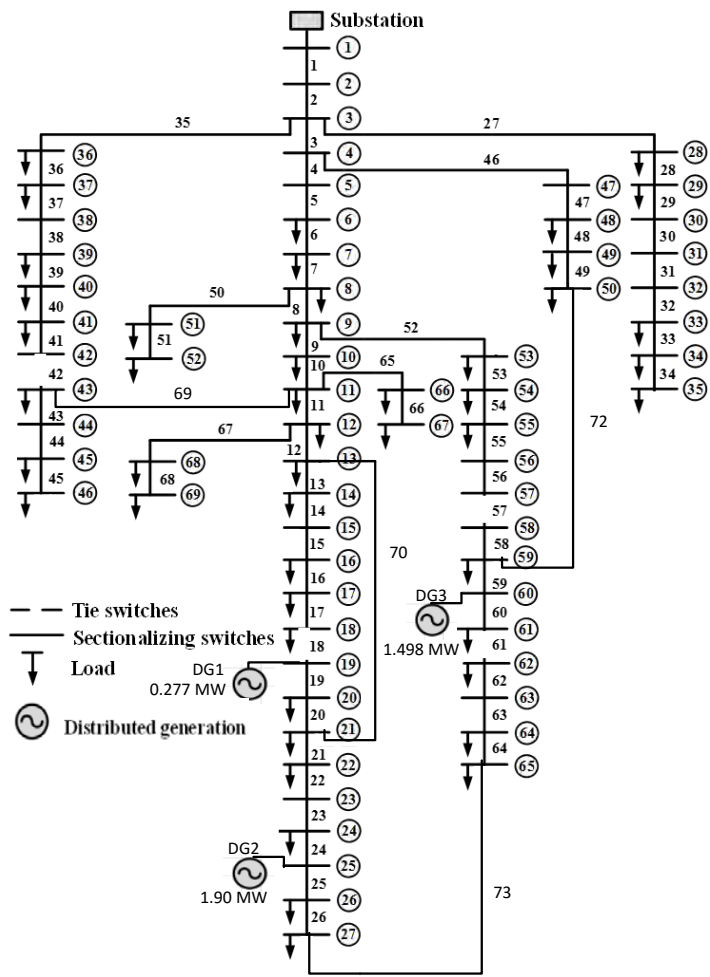
Lampiran 3_Kasus C-Penempatan DG



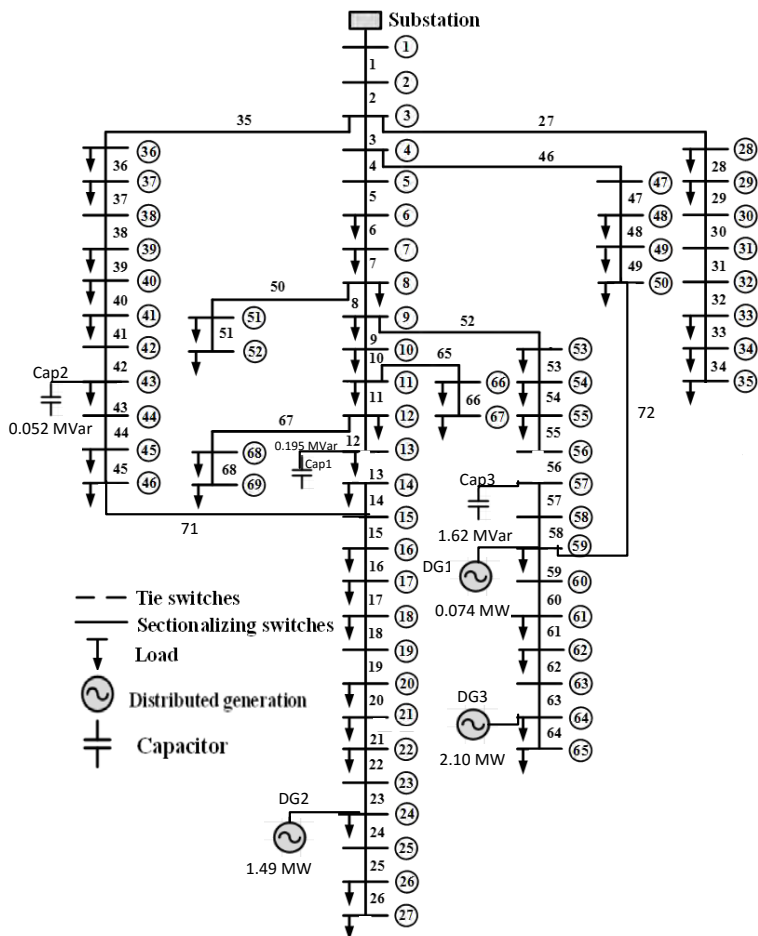
Lampiran 4_Kasus D-Penempatan DG dan Kapasitor



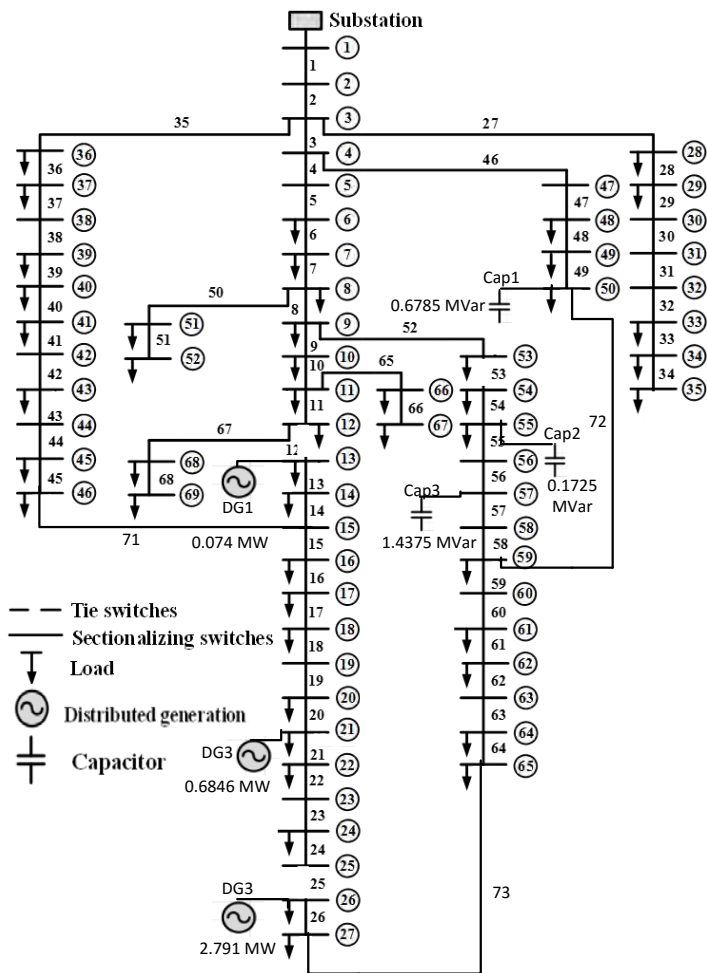
Lampiran 5_ Kasus E-Rekonfigurasi jaringan dan penempatan DG
simultan



Lampiran 6_ Kasus F-Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan Kapasitor berurutan



Lampiran 7_ Kasus G- Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan Kapasitor *simultan*



Lampiran 8**Tabel** Tegangan Bus Kasus A-Sistem standar IEEE 69 bus modifikasi

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
1	12.66	1
2	12.6594	0.999952607
3	12.6587	0.999897314
4	12.6569	0.999755134
5	12.6398	0.998404423
6	12.4525	0.983609795
7	12.2576	0.96821485
8	12.2108	0.964518167
9	12.1865	0.962598736
10	12.0382	0.950884676
11	12.0048	0.948246445
12	11.8914	0.9392891
13	11.7609	0.928981043
14	11.6331	0.918886256
15	11.5045	0.908728278
16	11.4807	0.906848341
17	11.437	0.903396524
18	11.4365	0.90335703
19	11.4024	0.900663507
20	11.3805	0.898933649
21	11.345	0.896129542
22	11.3444	0.896082148
23	12.66	1
24	12.6594	0.999952607

Tabel Tegangan Bus Kasus A-Sistem standar IEEE 69 bus modifikasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
25	11.3379	0.89556872
26	11.3236	0.894439179
27	11.2949	0.892172196
28	11.2831	0.891240126
29	11.2768	0.890742496
30	12.6586	0.999889415
31	12.6574	0.999794629
32	12.6549	0.999597156
33	12.6545	0.999565561
34	12.6524	0.999399684
35	12.6472	0.998988942
36	12.639	0.998341232
37	12.6348	0.998009479
38	12.6584	0.999873618
39	12.6538	0.999510269
40	12.6491	0.999139021
41	12.6477	0.999028436
42	12.6476	0.999020537
43	12.6201	0.996848341
44	12.6085	0.99593207
45	12.6069	0.995805687
46	12.6066	0.995781991
47	12.6029	0.995489731
48	12.6029	0.995489731
49	12.6563	0.999707741

Tabel Tegangan Bus Kasus A-Sistem standar IEEE 69 bus modifikasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
50	12.6405	0.998459716
51	12.5919	0.994620853
52	12.585	0.994075829
53	12.2104	0.964486572
54	12.2103	0.964478673
55	12.1359	0.958601896
56	12.077	0.953949447
57	11.9954	0.947503949
58	11.9154	0.941184834
59	11.5036	0.908657188
60	11.3011	0.892661927
61	11.2229	0.886484992
62	11.1461	0.880418641
63	11.033	0.871484992
64	11.0263	0.870955766
65	11.0169	0.87021327
66	10.9707	0.866563981
67	10.9324	0.863538705
68	12.0041	0.948191153
69	12.0041	0.948191153

Lampiran 9**Tabel Tegangan Bus Kasus B-Rekonfigurasi Jaringan**

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
1	12.66	1
2	12.6594	0.999952607
3	12.6587	0.999897314
4	12.6575	0.999802528
5	12.6547	0.999581359
6	12.6241	0.997164297
7	12.5923	0.994652449
8	12.5851	0.994083728
9	12.5818	0.993823065
10	12.5395	0.990481833
11	12.5304	0.989763033
12	12.5084	0.988025276
13	12.1016	0.955892575
14	12.1058	0.956224329
15	12.1108	0.956619273
16	12.082	0.954344392
17	12.0287	0.950134281
18	12.0281	0.950086888
19	11.9854	0.94671406
20	11.958	0.944549763
21	11.9135	0.941034755
22	11.9125	0.940955766
23	12.66	1
24	12.6594	0.999952607

Tabel Tegangan Bus Kasus B-Rekonfigurasi Jaringan (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
25	11.9013	0.94007109
26	11.8769	0.93814376
27	11.8263	0.934146919
28	11.8054	0.932496051
29	11.794	0.931595577
30	12.6586	0.999889415
31	12.6574	0.999794629
32	12.655	0.999605055
33	12.6545	0.999565561
34	12.6524	0.999399684
35	12.6472	0.998988942
36	12.6391	0.998349131
37	12.6348	0.998009479
38	12.6569	0.999755134
39	12.6306	0.997677725
40	12.6021	0.99542654
41	12.5939	0.994778831
42	12.5934	0.994739336
43	12.4015	0.979581359
44	12.3199	0.973135861
45	12.3092	0.972290679
46	12.3067	0.972093207
47	12.2775	0.96978673
48	12.2773	0.969770932
49	12.6553	0.999628752

Tabel Tegangan Bus Kasus B-Rekonfigurasi Jaringan (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
50	12.5993	0.995205371
51	12.4144	0.980600316
52	12.3692	0.977030016
53	12.5846	0.994044234
54	12.5845	0.994036335
55	12.5808	0.993744076
56	12.5797	0.993657188
57	12.5789	0.993593997
58	12.5789	0.993593997
59	12.5789	0.993593997
60	11.9076	0.94056872
61	11.9076	0.94056872
62	11.8475	0.935821485
63	11.759	0.928830964
64	11.7561	0.928601896
65	11.7523	0.928301738
66	11.7335	0.926816746
67	11.76	0.928909953
68	12.5297	0.989707741
69	12.5297	0.989707741

Lampiran 10**Tabel** Tegangan Bus Kasus C-Penempatan DG dengan optimasi

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
1	12.66	1
2	12.6595	0.999960506
3	12.6591	0.99992891
4	12.6578	0.999826224
5	12.6492	0.999146919
6	12.5825	0.993878357
7	12.5138	0.988451817
8	12.4976	0.987172196
9	12.4897	0.986548183
10	12.4353	0.982251185
11	12.4235	0.981319115
12	12.3915	0.978791469
13	12.3778	0.977709321
14	12.3684	0.976966825
15	12.3601	0.976311216
16	12.3586	0.976192733
17	12.3575	0.976105845
18	12.3575	0.976105845
19	12.326	0.973617694
20	12.3058	0.972022117
21	12.273	0.96943128
22	12.2724	0.969383886
23	12.2664	0.968909953
24	12.2532	0.967867299

Tabel Tegangan Bus C-Penempatan DG dengan optimasi
(lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
25	12.2267	0.965774092
26	12.2158	0.964913112
27	12.2099	0.964447077
28	12.659	0.999921011
29	12.6577	0.999818325
30	12.6553	0.999628752
31	12.6549	0.999597156
32	12.6527	0.999423381
33	12.6475	0.999012638
34	12.6394	0.998372828
35	12.6351	0.998033175
36	12.6587	0.999897314
37	12.6541	0.999533965
38	12.6494	0.999162717
39	12.6481	0.999060032
40	12.648	0.999052133
41	12.6205	0.996879937
42	12.6088	0.995955766
43	12.6073	0.995837283
44	12.607	0.995813586
45	12.6032	0.995513428
46	12.6032	0.995513428
47	12.6572	0.999778831
48	12.6414	0.998530806
49	12.5928	0.994691943

Tabel Tegangan Busi Kasus C-Penempatan DG dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
50	12.5859	0.994146919
51	12.4972	0.9871406
52	12.4971	0.987132701
53	12.4767	0.985521327
54	12.4618	0.984344392
55	12.4418	0.982764613
56	12.4229	0.981271722
57	12.3551	0.975916272
58	12.3231	0.973388626
59	12.3112	0.972448657
60	12.2824	0.970173776
61	12.2337	0.966327014
62	12.2379	0.966658768
63	12.2447	0.967195893
64	12.2778	0.969810427
65	12.353	0.975750395
66	12.4228	0.981263823
67	12.4228	0.981263823
68	12.3791	0.977812006
69	12.379	0.977804107

Lampiran 11**Tabel** Tegangan Bus Kasus D-Penempatan DG dan Kapasitor dengan optimasi

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
1	12.66	1
2	12.6597	0.999976303
3	12.6594	0.999952607
4	12.6587	0.999897314
5	12.6543	0.999549763
6	12.6145	0.996406003
7	12.5732	0.99314376
8	12.5636	0.992385466
9	12.5591	0.992030016
10	12.5099	0.98814376
11	12.4992	0.987298578
12	12.4714	0.985102686
13	12.4634	0.984470774
14	12.4543	0.983751975
15	12.4463	0.983120063
16	12.4448	0.98300158
17	12.4438	0.982922591
18	12.4438	0.982922591
19	12.4467	0.983151659
20	12.4486	0.983301738
21	12.4517	0.983546603
22	12.4527	0.983625592
23	12.4632	0.984454976
24	12.4861	0.986263823

Tabel Tegangan Bus Kasus D-Penempatan DG dan Kapasitor dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
25	12.4602	0.984218009
26	12.4495	0.983372828
27	12.4438	0.982922591
28	12.6594	0.999952607
29	12.6585	0.999881517
30	12.6584	0.999873618
31	12.6584	0.999873618
32	12.6583	0.999865719
33	12.658	0.999842022
34	12.6499	0.999202212
35	12.6456	0.998862559
36	12.6591	0.99992891
37	12.6552	0.999620853
38	12.651	0.9992891
39	12.6498	0.999194313
40	12.6497	0.999186414
41	12.6257	0.997290679
42	12.6156	0.996492891
43	12.6142	0.996382306
44	12.6139	0.99635861
45	12.6102	0.996066351
46	12.6102	0.996066351
47	12.6581	0.999849921
48	12.6423	0.998601896
49	12.5937	0.994763033

Tabel Tegangan Bus Kasus D-Penempatan DG dan Kapasitor dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
50	12.5868	0.994218009
51	12.5631	0.992345972
52	12.563	0.992338073
53	12.5568	0.991848341
54	12.5543	0.991650869
55	12.5515	0.9914297
56	12.5495	0.991271722
57	12.5395	0.990481833
58	12.5008	0.987424961
59	12.4863	0.986279621
60	12.4882	0.9864297
61	12.48	0.985781991
62	12.4917	0.986706161
63	12.5097	0.988127962
64	12.5979	0.995094787
65	12.7535	1.007385466
66	12.4985	0.987243286
67	12.4985	0.987243286
68	12.4591	0.984131122
69	12.459	0.984123223

Lampiran 12

Tabel Tegangan Bus Kasus E- Rekonfigurasi dan Penempatan DG *simultan* dengan optimasi

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
1	12.66	1
2	12.6595	0.999960506
3	12.6591	0.99992891
4	12.6578	0.999826224
5	12.6518	0.999352291
6	12.6035	0.995537125
7	12.5534	0.991579779
8	12.5418	0.990663507
9	12.5362	0.990221169
10	12.4723	0.985173776
11	12.4584	0.984075829
12	12.4371	0.982393365
13	12.4393	0.982567141
14	12.4218	0.981184834
15	12.4049	0.979849921
16	12.4017	0.979597156
17	12.3974	0.979257504
18	12.3974	0.979257504
19	12.426	0.981516588
20	12.4213	0.98114534
21	12.4219	0.981192733
22	12.4227	0.981255924
23	12.4321	0.98199842
24	12.4526	0.983617694

Tabel Tegangan Bus Kasus E- Rekonfigurasi dan Penempatan DG *simultan* dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
25	12.4993	0.987306477
26	12.4715	0.985110585
27	12.4562	0.983902054
28	12.659	0.999921011
29	12.6577	0.999818325
30	12.6553	0.999628752
31	12.6549	0.999597156
32	12.6527	0.999423381
33	12.6476	0.999020537
34	12.6394	0.998372828
35	12.6351	0.998033175
36	12.659	0.999921011
37	12.6579	0.999834123
38	12.6572	0.999778831
39	12.657	0.999763033
40	12.657	0.999763033
41	12.6568	0.999747235
42	12.6568	0.999747235
43	12.4405	0.982661927
44	12.4402	0.982638231
45	12.4364	0.982338073
46	12.4364	0.982338073
47	12.6562	0.999699842
48	12.6173	0.996627172
49	12.4899	0.986563981

Tabel Tegangan Bus Kasus E- Rekonfigurasi dan Penempatan DG *simultan* dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
50	12.4607	0.984257504
51	12.5413	0.990624013
52	12.5412	0.990616114
53	12.5351	0.990134281
54	12.534	0.990047393
55	12.5333	0.989992101
56	12.5333	0.989992101
57	12.5333	0.989992101
58	12.3162	0.972843602
59	12.3162	0.972843602
60	12.3154	0.972780411
61	12.2451	0.967227488
62	12.3627	0.976516588
63	12.3632	0.976556082
64	12.3657	0.976753555
65	12.3955	0.979107425
66	12.4577	0.984020537
67	12.4576	0.984012638
68	12.4247	0.981413902
69	12.4246	0.981406003

Lampiran 13

Tabel Tegangan Bus Kasus F- Rekonfigurasi, penempatan DG dan penempatan kapasitor berurutan dengan optimasi

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
1	12.66	1
2	12.6597	0.999976303
3	12.6594	0.999952607
4	12.6589	0.999913112
5	12.6598	0.999984202
6	12.6516	0.999336493
7	12.6433	0.998680885
8	12.6417	0.998554502
9	12.6415	0.998538705
10	12.5995	0.995221169
11	12.5904	0.99450237
12	12.5684	0.992764613
13	12.4626	0.984407583
14	12.4612	0.984296998
15	12.4607	0.984257504
16	12.4566	0.983933649
17	12.4505	0.983451817
18	12.4505	0.983451817
19	12.449	0.983333333
20	12.4481	0.983262243
21	12.4466	0.98314376
22	12.4474	0.983206951
23	12.4558	0.983870458
24	12.4741	0.985315956

Tabel Tegangan Bus Kasus F- Rekonfigurasi, penempatan DG dan penempatan kapasitor berurutan dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
25	12.426	0.981516588
26	12.4062	0.979952607
27	12.3953	0.979091627
28	12.6593	0.999944708
29	12.6581	0.999849921
30	12.6556	0.999652449
31	12.6552	0.999620853
32	12.6531	0.999454976
33	12.6479	0.999044234
34	12.6398	0.998404423
35	12.6355	0.998064771
36	12.6584	0.999873618
37	12.6438	0.998720379
38	12.6313	0.997733017
39	12.6277	0.997448657
40	12.6275	0.997432859
41	12.5462	0.991011058
42	12.5117	0.98828594
43	12.5072	0.98793049
44	12.5061	0.987843602
45	12.4931	0.986816746
46	12.493	0.986808847
47	12.6574	0.999794629
48	12.6179	0.996674566
49	12.4884	0.986445498

Tabel Tegangan Bus Kasus F- Rekonfigurasi, penempatan DG dan penempatan kapasitor berurutan dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
50	12.4587	0.984099526
51	12.6413	0.998522907
52	12.6412	0.998515008
53	12.6512	0.999304897
54	12.6627	1.00021327
55	12.6797	1.001556082
56	12.6973	1.002946288
57	12.7636	1.008183254
58	12.3633	0.976563981
59	12.3633	0.976563981
60	12.3711	0.977180095
61	12.3722	0.977266983
62	12.3859	0.978349131
63	12.4066	0.984099526
64	12.5087	0.998522907
65	12.3629	0.998515008
66	12.5897	0.999304897
67	12.5897	1.00021327
68	12.5562	1.001556082
69	12.5562	1.002946288

Lampiran 14

Tabel Tegangan Bus Kasus G- Rekonfigurasi, penempatan DG dan penempatan kapasitor *simultan* dengan optimasi

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
1	12.66	1
2	12.6597	0.999976303
3	12.6595	0.999960506
4	12.6591	0.99992891
5	12.6564	0.99971564
6	12.6278	0.997456556
7	12.5981	0.995110585
8	12.5914	0.994581359
9	12.5884	0.994344392
10	12.5462	0.991011058
11	12.537	0.99028436
12	12.515	0.988546603
13	12.4944	0.986919431
14	12.4922	0.986745656
15	12.4909	0.98664297
16	12.4868	0.986319115
17	12.4806	0.985829384
18	12.4805	0.985821485
19	12.4789	0.985695103
20	12.4779	0.985616114
21	12.4762	0.985481833
22	12.4762	0.985481833
23	12.4757	0.985442338
24	12.4748	0.985371248

Tabel Tegangan Bus Kasus G- Rekonfigurasi, penempatan DG dan penempatan kapasitor *simultan* dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
25	12.4748	0.985371248
26	13.0082	1.027503949
27	12.9722	1.024660348
28	12.6594	0.999952607
29	12.6582	0.99985782
30	12.6557	0.999660348
31	12.6553	0.999628752
32	12.6531	0.999454976
33	12.648	0.999052133
34	12.6398	0.998404423
35	12.6356	0.99807267
36	12.6586	0.999889415
37	12.6467	0.998949447
38	12.6359	0.998096367
39	12.6328	0.997851501
40	12.6326	0.997835703
41	12.5631	0.992345972
42	12.5336	0.990015798
43	12.5297	0.989707741
44	12.5288	0.989636651
45	12.5183	0.988807267
46	12.5182	0.988799368
47	12.6586	0.999889415
48	12.6468	0.998957346
49	12.6117	0.996184834

Tabel Tegangan Bua Kasus G- Rekonfigurasi, penempatan DG dan penempatan kapasitor *simultan* dengan optimasi (lanjutan)

Bus	Tegangan	
	KV	P.U
50	12.6086	0.995939968
51	12.5909	0.994541864
52	12.5908	0.994533965
53	12.5883	0.994336493
54	12.6012	0.99535545
55	12.602	0.995418641
56	12.6016	0.995387046
57	12.6022	0.995434439
58	12.5728	0.993112164
59	12.5618	0.992243286
60	12.5615	0.992219589
61	12.5481	0.991161137
62	12.5588	0.992006319
63	12.5752	0.993301738
64	12.6558	0.999668246
65	12.8005	1.011097946
66	12.5363	0.990229068
67	12.5363	0.990229068
68	12.5027	0.987575039
69	12.5027	0.987575039

Halaman ini sengaja diskongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada basis sistem, terdapat tegangan bus yang *under voltage*. Dengan pemasangan DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan menggunakan metode algoritma genetika diperoleh perbaikan tegangan bus. Sehingga, tegangan bus pada sistem menjadi normal.
2. Penempatan 3 unit DG pada sistem 69 bus, menghasilkan keluaran daya aktif maksimal sebesar 3,68 MW.
3. Penempatan 3 unit DG dan kapasitor, mampu menaikkan tegangan bus, sehingga tidak terjadi *under voltage*. Begitu juga dengan rekonfigurasi jaringan dan penempatan 3 unit DG secara berurutan. Tegangan tetap berada pada batas yang diijinka atau tetap dalam *constraint*.
4. Rekonfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor, mampu menaikkan tegangan bus secara signifikan, maka penggabungan ketiga teknik tersebut merupakan teknik yang paling optimal. Terutama untuk yang secara *simultan*.
5. Perbedaan teknik secara berurutan dan simultan berada pada cara proses optimasinya, optimasi berurutan dilakukan per-teknik optimasi sedangkan simultan dilakukan sekaligus atau bersamaan.
6. Penggunaan *Genetic Algorithm* (GA) mampu menghasilkan solusi optimal untuk menentukan lokasi penempatan DG yang sesuai agar diperoleh keluaran daya aktif DG yang maksimal. Begitu juga dengan rekonfigurasi jaringan dan penempatan kapasitor.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan tugas akhir ini adalah

1. Perlu dilakukan pengujian optimasi terhadap sistem distribusi radial dengan menggunakan beberapa fungsi objektif yang dilakukan melalui penggabungan pemasangan DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan.

2. Pemaksimalan keluaran daya aktif DG sebaiknya juga mempertimbangkan atau memperhitungkan biaya pembangkitan dai jenis DG yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.G Bharathi Dasan, S.Selvi Ramalaksmhi “*Optimal siting and sizing of hybrid distributed generation using EP*”, Third International conference on power system, Kharagpur, India, 2009.
- [2] Taher Abbas Seyed, Karimi Mohammad Hossein “*Optimal reconfiguration and DG allocation in balance and unbalance distribution system*”, Ain Shams Engineering journal, 2014.
- [3] A.Mohamed Imran, M.Kowsalya, D.P Kotahri “*A Novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks*”, ELSAVIER journal, 2014
- [4] Ghosh Smarajit “*Optimal sizing and placement of DG in a radial distribution network using sensitivity based method*”, Electrical and Instrumentation Engineering Department Thapar University, 2014
- [5] Saonerkar A.K, Bagde B.Y “*Optimized DG placement in radial distribution system with reconfiguration and capacitor placement using genetic algorithm*”, IEEE, 2014
- [6] Penangsang, Ontoseno, “*Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik*”, ITS Press, Surabaya, 2006.
- [7] A.O Abdulrahman “*Development of a firefly algorithm based analytical method for optimal location and sizing of distributed generation in radial distribution networks*”, Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria journal, 2015
- [8] Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt ” *Practical Genetic Algorithm*”, John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, Canada, 2004.
- [9] Kalantari, Meysam dan Kazemi, Ahad “*Placement of distributed Generation Unit and Capacitor Allocation in Distribution System using Genetic Algorithm*”, IEEE journal, 2011.
- [10] Novialifah, Rizka Winda ” *Algoritma Aliran Daya untuk Sistem Distribusi Radial dengan Beban Sensitif Tegangan*”, Jurnal Teknik POMITS, 2014
- [11] S.Wanxing, L.Ke-yan, C.Sheng “*Optimal power flow algorithm and analysis in distribution system considering distributed generation*”, ELSAVIER journal, 2013

- [12] A. Mohaputra, S.Behera, S Nayak, B.K. Panigrahi “*A study on DG and Capacitor Placement in Radial Distribution System*”, journal IEEE, 2012
- [13] Syed, Meera Shareef dan Injeti, Satish Kumar “*Simultaneous Optimal Placement of DGs and Fixed Capacitor Banks in Radial Distrubution System using BSA Optimization*”, International Journal of Computer Application, December 2014

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Erwin Prawira Santosa**, biasa dipanggil Erwin. Lahir di Cepu – Jawa Tengah pada tanggal 16 Desember tahun 1992. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 3 Cepu kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Cepu dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Cepu. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di

Universita Gadjah Mada dengan program studi Teknik Elektronika. Pada tahun 2014 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3 .Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro.

email : prawirasantosa@gmail.com